

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-281388

(43)Date of publication of application : 31.10.1997

(51)Int.Cl.

G02B 13/04

G02B 3/00

G02B 13/22

(21)Application number : 08-115228

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 15.04.1996

(72)Inventor : NAGAOKA TOSHIYUKI

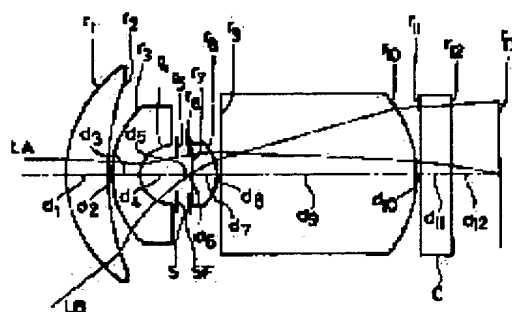
## (54) LENS SYSTEM

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To set the number of lenses to about 2 to 4 and to excellently compensate aberration by providing a radial type refractive index distribution lens having axially symmetric refractive index distribution in a radial direction in a rear group, and satisfying a specified condition.

**SOLUTION:** This lens system is constituted of a front group consisting of a positive lens and a negative lens, and the rear group consisting of the positive lens. In the rear group, at least one radial type refractive index distribution lens having the axially symmetric refractive index distribution in the radial direction and expressed by an expression  $N\lambda(r)=N_0\lambda+N_1\lambda r^2+N_2\lambda r^4+\dots$  is used. Then, the lens system

satisfies the condition  $1/V_1 < 1 < 1/V_0$ , and  $-0.5 < N_1 \times f_2 < -0.01$ . Provided that (r) is a distance from an optical axis in the radial direction,  $N\lambda(r)$  is a refractive index at the point being the distance (r) of wavelength  $\lambda$ ,  $N_i\lambda$  is the refractive index distribution coefficient of 2i- degree of the wavelength  $\lambda$ ,  $V_0$  and  $V_i$  are values expressed by  $V_0=(N_0d-1)/(N_0F-N_0C)$  and  $V_i=N_id/(N_iF-N_iC)$ , and (f) is the focal distance of the entire lens system.  $N_0d\dots$  and  $N_id\dots$  are the refractive index and the distribution coefficients of 2i-degree on optical axis with respect to a line (d), a line (F) and a line (C), respectively.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.08.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3548331

[Date of registration] 23.04.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-281388

(43) 公開日 平成9年(1997)10月31日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所	
G 0 2 B	13/04		G 0 2 B	13/04	D
	3/00			3/00	B
	13/22			13/22	

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全 71 頁)

(21) 出願番号 特願平8-115228

(22) 出願日 平成8年(1996)4月15日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 永岡 利之

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス光学工業株式会社内

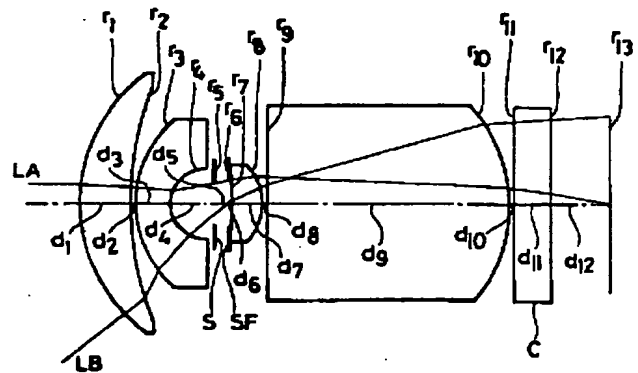
(74) 代理人 弁理士 向 寛二

(54) 【発明の名称】 レンズ系

(57) 【要約】

【目的】 本発明はレンズ枚数が2～4枚程度で諸収差が良好に補正された小型のレンズ系を提供することを目的とする。

【構成】 本発明のレンズ系は、少なくとも1枚の正レンズと少なくとも1枚の負レンズよりなる前群と、少なくとも1枚の正レンズよりなる後群とからなり、後群中に少なくとも1枚半径方向に軸対称な屈折率分布レンズを有し、この屈折率分布レンズの屈折率分布等を適切な値に定めることにより発明の目的を達成するようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも 1 枚の正レンズと少なくとも 1 枚の負レンズを有する前群と、少なくとも 1 枚の正レンズを有する後群とよりなり、前記後群中に半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚有し、下記条件 (1)、(4) を満足するレンズ系。

$$(1) \quad 1/V_1 < 1/V_0$$

$$(4) \quad -0.5 < N_1 \times f^2 < -0.01$$

ただし、 $f$  はレンズ系全系の焦点距離、 $N_1$  は屈折率分布係数、 $V_0$  および  $V_1$  は下記の式で与えられるラジアル型屈折率分布レンズの分散を表わす値である。

$$V_0 = (N_{0d} - 1) / (N_{0f} - N_{0c})$$

$$V_1 = N_{1d} / (N_{1f} - N_{1c})$$

上記式で  $N_{0d}$ 、 $N_{0f}$ 、 $N_{0c}$  は夫々  $d$  線、 $F$  線、 $C$  線に対する光軸上の屈折率、 $N_{1d}$ 、 $N_{1f}$ 、 $N_{1c}$  は夫々  $d$  線、 $F$  線、 $C$  線に対する 2 次の分散係数である。

【請求項 2】 複数のレンズにて構成され最も物体側に明るさ絞りが配置されているレンズ系で、レンズ系中に半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚有し、下記条件 (1)、

(2) を満足するレンズ系。

$$(1) \quad 1/V_1 < 1/V_0$$

$$(2) \quad -2 < N_1 \times f^2 < -0.005$$

ただし、 $f$  はレンズ系全系の焦点距離、 $N_1$  は屈折率分布係数、 $V_0$  および  $V_1$  は下記の式で与えられるラジアル型屈折率分布レンズの分散を表わす値である。

$$V_0 = (N_{0d} - 1) / (N_{0f} - N_{0c})$$

$$V_1 = N_{1d} / (N_{1f} - N_{1c})$$

上記式で  $N_{0d}$ 、 $N_{0f}$ 、 $N_{0c}$  は夫々  $d$  線、 $F$  線、 $C$  線に対する光軸上の屈折率、 $N_{1d}$ 、 $N_{1f}$ 、 $N_{1c}$  は夫々  $d$  線、 $F$  線、 $C$  線に対する 2 次の分散係数である。

【請求項 3】 正レンズ 1 枚よりなる前群と、明るさ絞りと、少なくとも 1 枚の正レンズよりなる後群とよりなり、前記後群中に半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚有するレンズ系。

【請求項 4】 複数のレンズよりなり少なくとも 1 面の反射面を設けたレンズ系で、レンズ系中に半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚有するレンズ系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ビデオカメラやテレビ電話その他に用いられるレンズ系で、ラジアル型屈折率分布レンズを用いたレンズ系に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、CCD 等の固体撮像素子を用いたビデオカメラやテレビ電話の普及に伴いそれらに用いられる比較的画角の広いレンズ系には、より一層の小型化

のためや製作コストの引下げのために、レンズ枚数を削減することが求められている。

【0003】 一方、レンズ系は撮像素子の高画素化に伴い高性能化が求められている。

【0004】 一般にこれらに用いられる高い光学性能を有するレンズ系の従来例として、例えば特開平 7-181376 号公報に記載されたレンズ系が知られている。しかし、この従来例は、高い光学性能を達成するために 10 枚～12 枚のレンズが用いられている。

【0005】 また、所望の高い光学性能を維持したままレンズ枚数を削減するためにラジアル型屈折率分布レンズを用い、これにより 3 枚のレンズにて構成した従来例として、特開平 5-134172 号公報あるいは特開平 6-230273 号公報に記載されたレンズ系が知られている。

【0006】 しかし、上記の従来例は銀塩カメラに用いるためのレンズ系であり、射出瞳位置が像面に極めて近く、軸外光線が像面へほぼテレセントリックな入射になっていないため、固体撮像素子を用いたレンズ系に適用すると周辺光量が不足する。

【0007】 また、ラジアル型屈折率分布レンズを用い 3 枚のレンズで構成したレンズ系の従来例として、特開平 7-159697 号公報に記載されたレンズ系が知られている。しかしこの従来例は、顕微鏡対物レンズにラジアル型屈折率分布レンズを適用したもので、画角が狭い。

【0008】 また、比較的広画角なレンズ系で、像面へのテレセントリック入射を考慮した従来例として特開平 4-97309 号公報に記載されたレンズ系が知られている。しかし、この従来例は、屈折率分布レンズの光軸上と周辺部とでの屈折率差が極めて大であるため、屈折率分布レンズ素材の作製が困難である。

【0009】 また、2 枚～5 枚のレンズで構成したレンズ系の従来例として、特開昭 52-29238 号公報、特開平 5-107471 号公報に記載されたレンズ系が知られている。これら従来例は、内視鏡対物レンズにラジアル型屈折率分布レンズを用いた例であるが、歪曲収差が極めて大きい。

## 【0010】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、レンズ枚数が 2～4 枚程度であって、諸収差が良好に補正された小型のレンズ系を提供することを目的とする。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】 本発明のレンズ系は、少なくとも 1 枚の正レンズと少なくとも 1 枚の負レンズよりなる前群と、少なくとも 1 枚の正レンズよりなる後群とよりなり、前記後群中に少なくとも 1 枚半径方向に軸対称な屈折率分布を有する下記式 (a) にて表わされるラジアル型屈折率分布レンズを用い、下記条件 (1)、(4) を満足することを特徴とするものである。

【0012】

$$N\lambda(r) = N_0\lambda + N_1\lambda r^2 + N_2\lambda r^4 + \dots \quad (a)$$

$$(1) \quad 1/V_0 < 1/V_1$$

$$(4) \quad -0.5 < N_1 \times f^2 < -0.01$$

ただし、 $r$ は光軸から半径方向への距離、 $N\lambda(r)$ は波長 $\lambda$ の距離 $r$ の点での屈折率、 $N_1\lambda$ は波長 $\lambda$ の2次の屈折率分布係数、 $V_0$ 、 $V_1$ は下記式で表わされる\*

$$V_0 = (N_{0d} - 1) / (N_{0f} - N_{0c}) \quad (c)$$

$$V_1 = N_{1d} / (N_{1f} - N_{1c}) \quad (d)$$

上記式において $N_{0d}$ 、 $N_{0f}$ 、 $N_{0c}$ は夫々d線、F線、C線に対する光軸上の屈折率、 $N_{1d}$ 、 $N_{1f}$ 、 $N_{1c}$ は夫々D線、F線、C線に対する2次の分布係数である。

【0014】尚、本発明においては、基準波長をd線としており、特に波長 $\lambda$ の指定のない限り $N_1$ 等はd線に対するものを表わしている。

【0015】本発明の第1の構成のレンズ系は、前記のように負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなり、後群に少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズを用いたレトロフォーカスタイプのレンズ系である。CCD等の固体撮像素子を用いた比較的広い画角のレンズ系を達成するためには、レトロフォーカスタイプのレンズ系が用いられる。しかし、レトロフォーカスタイプのレンズ系は、広角化やテレセントリックな入射には有利であるが、その反面レンズの屈折力配置が非対称であ※

$$LTC = K(\phi_s / V_0 + \phi_m / V_1) \quad (b)$$

ただし、 $K$ は軸外光線の光線高および最終近軸光線角度に依存する定数、 $\phi_s$ はラジアル型屈折率分布レンズの面の薄肉の屈折力、 $\phi_m$ は媒質の屈折力である。

【0019】また、媒質の屈折力は下記式(e)で近似されることが知られている。

$$\phi_m \approx -2N_1 t_e \quad (e)$$

ただし、 $t_e$ はラジアル型屈折率分布レンズのレンズ厚である。

【0021】式(b)より第2項の $V_1$ を変化させることにより色収差の発生量を所望の値にすることが可能である。そこで、ラジアル型屈折率分布レンズと同じ屈折力 $\phi_m$ を持つ均質レンズと比較して色収差の発生量を小さくするためには式(b)より次の式を満足する必要がある。

$$\phi_s / V_0 + \phi_m / V_1 < \phi_m / V_0 \quad (f)$$

上記式は、左辺がラジアル型屈折率分布レンズを表し、右辺が均質レンズを表し、 $\phi_m$ は均質レンズの屈折力であり、均質レンズのアップベ数はラジアル型屈折率分布レンズの光軸上のアップベ数 $V_0$ と等しいと仮定している。また同じ屈折力のラジアル型屈折率分布レンズと均質レンズとを比較しているので、下記の式となる。

$$\phi_m = \phi_s + \phi_m$$

上記の2式から、次の式が得られる。

【0024】

\* 値、 $f$ はレンズ系全系の焦点距離である。

【0013】

※ するため軸外収差の補正が難しい欠点を有している。特に、2枚～4枚の少ない枚数のレンズで構成する場合、倍率の色収差が補正不足となる傾向にあり、良好な結像性能を達成することが困難である。この倍率の色収差を良好に補正するためには、後群に少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズを用いることが望ましい。

【0016】ラジアル型屈折率分布レンズは、半径方向に軸対称な屈折率分布を持ち、これによりレンズ媒質中で光線を屈折させることが可能であり、均質レンズに比較して収差補正の自由度が大である。なかでも色収差の補正に優れた特徴を持つことが知られている。

【0017】ここで、上記式(a)にて表わされる屈折率分布レンズによる倍率の色収差LTCは、次の式(b)で表わされる。

【0018】

$$\phi_s / V_0 + \phi_m / V_1 < \phi_s / V_0 + \phi_m / V_0$$

この式より、前記の条件(1)が導かれる。

【0025】条件(1)は、同じ屈折力の均質レンズと比較してラジアル型屈折率分布レンズにより発生する色収差を小さくするための必要条件である。

【0026】本発明のレンズ系で問題となる倍率の色収差を補正するためには、条件(1)を満足するラジアル型屈折率分布レンズに正の屈折力を持たせ、これを正の屈折力の後群に配置することが望ましい。このような構成にすれば、正の屈折力の後群で発生する倍率の色収差を小さくし、レンズ系全体での倍率の色収差を良好に補正することが可能になる。

【0027】もし、この条件(1)を満足しないと倍率の色収差が補正不足になる。

【0028】倍率の色収差を補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズに負の屈折力を持たせてこれを負の屈折力の前群に用いることも考えられる。しかし、負レンズで発生する色収差が小さくなるとレンズ系全系での軸上色収差が補正不足になり好ましくない。

【0029】また、式(b)より色収差を良好に補正するためには、媒質の屈折力 $\phi_m$ をある程度大にする必要がある。そのためには、式(e)より $N_1$ を大にするかレンズ厚 $t_e$ を厚くする必要がある。しかし、 $t_e$ の値を極端に大にするとレンズが厚くなりレンズの全長が長くなる。そのために、本発明レンズ系においては、 $N_1$

が下記条件 (2) を満足することが望ましい。

【0030】

$$(2) \quad -2 < N_1 \times f^2 < -0.005$$

屈折率分布レンズが上記条件 (2) を満足すると、レンズを極端に厚くせずに媒質の屈折力を大きくして倍率の色収差を良好に補正することが可能になる。もし、条件 (2) の上限の  $-0.005$  を超えると倍率の色収差が補正不足になる。また下限の  $-2$  を超えると倍率の色収差が補正過剰になる。

【0031】また、本発明のレンズ系において、より高い結像性能を必要とするシステムに用いる場合には条件 (3) を満足することが望ましい。

$$【0032】(3) \quad -1 < N_1 \times f^1 < -0.01$$

この条件 (3) を満足すれば、倍率の色収差を良好に補正し得る。

【0033】条件 (3) の上限の  $-0.01$  を超えると倍率の色収差が補正不足になる。又下限の  $-1$  を超えると倍率の色収差が補正過剰になり、高い性能が要求されるシステムに用いる場合は、倍率の色収差の補正が不十分である。

【0034】また、本発明のレンズ系において、レンズ枚数が 2 枚～4 枚程度と少ないために、画角の広いレンズ系を達成しようとする正のペッツバル和が大になり像面が物体側に倒れる傾向になる。これを補正するためラジアル型屈折率分布レンズを用いて上記収差を補正することを考えた。

【0035】ラジアル型屈折率分布レンズで発生するペッツバル和  $PTZ$  は、下記式 (f) にて近似される。

【0036】

$$PTZ = \phi : / N_0 + \phi : / N_0^2 \quad (f)$$

上記式 (f) において、第 2 項の分母に 2 乗が掛かっているため、同じ屈折力の均質レンズと比較してペッツバル和の値を小さくすることが可能である。ただし、媒質の屈折力  $\phi$  が小さいとペッツバル和の補正効果は十分に得られない。そのため、本発明では、上記条件 (2) を満足すると、媒質の屈折力が十分に大になり、ペッツバル和を良好に補正することが可能になる。つまり、前記条件 (2) は、倍率の色収差を補正し得ることに加えてペッツバル和をも良好に補正するための条件でもある。

【0037】もし、条件 (2) の上限の  $-0.005$  を超えるとペッツバル和が補正不足になり、像面が物体側に倒れる。また下限の  $-2$  を超えるとペッツバル和が補正過剰になり像面が物体から遠ざかる方向に倒れる。

【0038】又、ペッツバル和を一層良好に補正するためには、上記条件 (3) を満足することが望ましい。

【0039】条件 (3) の上限の  $-0.01$  を超えると、ペッツバル和が補正不足になり像面が物体側に倒れる。もし下限の  $-1$  を超えるとペッツバル和が補正

過剰になり、像面が物体から遠ざかる方向に倒れてくるため好ましくない。

【0040】また、本発明のレンズ系を広い画角で高い結像性能を必要とするシステムに用いる場合は、条件 (3) を満足することが望ましい。

【0041】更に倍率の色収差を良好に補正するためには下記条件 (4) を満足することが望ましい。

【0042】

$$(4) \quad -0.5 < N_1 \times f^1 < -0.02$$

条件 (4) の上限の  $-0.02$  を超えると倍率の色収差あるいはペッツバル和が補正不足になり好ましくない。また、下限の  $-0.5$  を超えるとペッツバル和あるいは倍率色収差が補正過剰になり像面が物体側から遠ざかる方向に倒れるため好ましくない。

【0043】また、レトロフォーカスタイプのレンズ系で、特に倍率の色収差をより少ないレンズ枚数で良好に補正するためには、前群を 1 枚の正レンズと 1 枚の負レンズで構成することが望ましい。前群をこのように構成すると、2 枚のレンズであるにも拘らずこの群で発生する倍率の色収差を少なくすることが可能であり、高い結像性能を有するレンズ系を達成することが出来る。

【0044】また、レトロフォーカスタイプのレンズ系で、特にレンズ枚数が少なく極めて安価なレンズ系を達成するためには前群を負レンズ 1 枚にて構成することが望ましい。又後群には、諸収差の補正に勝っているラジアル型屈折率分布レンズを用いれば、前群が負レンズ 1 枚であってもレンズ系の諸収差を良好に補正することが可能になる。

【0045】また、レトロフォーカスタイプのレンズ系で、特に、歪曲収差をより少ないレンズ枚数で良好に補正するためには、前群を負レンズ 2 枚にて構成することが望ましい。前群を 2 枚の負レンズで構成すれば、前群の負の屈折力を 2 枚の負レンズに分配することが可能になり、前群で発生する負の樽型の歪曲収差を小さく出来る。

【0046】また、レトロフォーカスタイプのレンズ系で、特にレンズ枚数の少ない極めて安価なレンズ系を達成するためには、後群をラジアル型屈折率分布レンズ 1 枚で構成することが望ましい。ラジアル型屈折率分布レンズを用いれば、後群が 1 枚のレンズであっても諸収差を良好に補正することが出来、レンズ枚数の少ないレンズ系を達成し得る。

【0047】また、本発明のレトロフォーカスタイプのレンズ系に、画素ピッチの細かい撮像素子を用いてより高性能な撮像レンズ系を達成するためには、後群はレンズ 2 枚で構成しそのうちの少なくとも 1 枚がラジアル型屈折率分布レンズであることが望ましい。この場合、後群をラジアル型屈折率分布レンズ 1 枚で構成することも可能であるが、諸収差をより良好に補正して一層高い結像性能を有するレンズ系を得るためには、更に 1 枚のレ

レンズを用いることが望ましい。

【0048】また、本発明のレンズ系の第1の構成であるレトロフォーカスタイプ以外のタイプのレンズ系では、次のような構成（第2の構成）のレンズ系とすることも可能である。即ち、本発明の第2の構成のレンズ系は、複数枚のレンズにて構成されたレンズ系中にラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも1枚用い、絞りを最も物体側に配置した構成である。

【0049】CCD等の撮像素子又は光ファイバー束等を撮像面に配置した光学系の場合、周辺減光を防止するために、軸外光線の像面への入射をほぼテレセントリックな入射にすることが望ましい。そのために、本発明の第2の構成のように、絞りをレンズ系の最も物体側に配置すればほぼテレセントリックな入射にすることが容易になる。その上、このように絞りを最も物体側に配置すれば、レトロフォーカスタイプのレンズ系に比較してレンズ配置の非対称性に起因する倍率の色収差や歪曲収差の補正が比較的容易になるというメリットもある。しかし、レトロフォーカスタイプのレンズ系と比べれば広角化しにくい。そのために、本発明の第2の構成のレンズ系は、 $2\omega = 50^\circ \sim 65^\circ$  程度以下の画角のレンズ系として用いるのが望ましい。更にこの第2の構成のレンズ系に、前記のように諸収差の補正に優れているラジアル型屈折率分布レンズを用いれば、特に諸収差を良好に補正することが出来る。

【0050】また絞りを最も物体側に配置すれば、絞りがレンズ系中に配置されている場合と比較すると偏心に強いと云うメリットがある。絞りの前後にレンズがあると、前後のレンズ枠の偏心が問題になるが、絞りが最も物体側に配置されていれば、このような枠偏心は問題にならない。

【0051】また、本発明の第2の構成は、正レンズで発生する倍率の色収差の補正が困難である。これを良好に補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズが前記条件（1）を満足することが望ましい。前述のように、条件（1）を満足するとラジアル型屈折率分布レンズの色収差の発生量が小になり、レンズ系全系での倍率の色収差を良好に補正し得る。もし条件（1）を満足しないと全系での倍率の色収差が補正不足になる。

【0052】また、本発明の第2の構成のレンズ系は、レトロフォーカスタイプのレンズ系の前群のように強い負の屈折力の成分を持たないために、特にレンズ系全系で正のベッツパール和が大になる傾向を有する。

【0053】そのため、この第2の構成のレンズ系は、前記条件（2）を満足することが望ましい。この条件

（2）を満足すれば媒質の屈折力が十分に大になり、ベッツパール和を良好に補正することが可能になる。もし条件（2）の上限値の $-0.005$ を超えるとベッツパール和が補正不足になり、像面が物体側に倒れるため好ましくない。また、下限値の $-2$ を超えるとベッツパー

ル和が補正過剰になり像面が物体から遠ざかる方向に倒れるため好ましくない。また前述のように、この条件（2）を満足すれば倍率の色収差を良好に補正する上でも好ましい。

【0054】次に本発明のレンズ系の第3の構成は、前群を正レンズ1枚にて構成し、後群を少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズを用いた構成にしたものである。

【0055】この第3の構成は、前述の第2の構成に比較的近い構成であって、絞りよりも物体側に正レンズを1枚配置した点が第2の構成との主たる相違点である。

【0056】前述のように、本発明のレンズ系は、軸外光線の像面への入射がほぼテレセントリックな構成であり、又諸収差が良好に補正されていることを目的としている。又収差補正において特に画角が広い場合に問題になる軸外収差の補正が重要である。

【0057】本発明の第3の構成のように、絞りよりも物体側に正レンズを1枚配置すれば、レンズ枚数が少ないにも拘らず、特に全系の非対称性が緩和され、倍率の色収差や歪曲収差などの軸外収差を良好に補正することが出来る。更に、レンズ系の比較的物体側である第1レンズの像側に絞りが配置されているために、像面へのテレセントリック入射を容易に達成し得る。更に諸収差を良好に補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズを用いることが望ましい。

【0058】また本発明の第3の構成のレンズ系は、レトロフォーカスタイプのレンズ系と比較すると広角化がやや行ないにくい構成である。そのため $2\omega = 50^\circ \sim 65^\circ$  程度以下の画角の仕様で用いることが望ましい。

【0059】また、本発明の第3の構成において、絞りよりも像側に配置したラジアル型屈折率分布レンズにおいて倍率の色収差を良好に補正するためには、条件

（1）を満足することが望ましい。前述のように条件（1）を満足すれば倍率の色収差を良好に補正することが可能である。もし条件（1）を満足しないと倍率の色収差が補正不足になる。

【0060】また、本発明の第3の構成のレンズ系は、レトロフォーカスタイプのレンズ系の前群のように強い負の屈折力成分を持たないために、特にレンズ系全系で正のベッツパール和が大になる傾向にある。そのためこれを補正するためラジアル型屈折率分布レンズが条件

（2）を満足することが望ましい。この条件（2）を満足すれば媒質の屈折力が十分大きな値になりベッツパール和を良好に補正することが可能である。もし、条件

（2）の上限値の $-0.005$ を超えるとベッツパール和が補正不足になり像面が物体側に倒れるため好ましくない。また下限値の $-2$ を超えるとベッツパール和が補正過剰になり像面が物体から遠ざかる方向に倒れるため好ましくない。又前述の通り、条件（2）を満足すれば倍率の色収差を良好に補正する上でも好ましい。

【0061】本発明の第2の構成又は第3の構成のレンズ系において歪曲収差を良好に補正するためには、絞りよりも像側に少なくとも2枚の正レンズを用いて正の屈折力を分散させることが望ましい。又本発明の第2の構成又は第3の構成のレンズ系において倍率の色収差を良好に補正するためには、絞りより像側に少なくとも1枚の正レンズと少なくとも1枚の負レンズを用いることが望ましい。

【0062】本発明の第4の構成のレンズ系は、レンズ系中に少なくとも1面の反射面と少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズを用いたものである。

【0063】カメラ本体の小型化と高性能化の要求を満足するためにレンズ系の全系を短くし、かつ高い結像性能を達成することは極めて困難である。しかしレンズ系の一部に反射面を用いれば、高い結像性能を維持したまま極めて小型のレンズ系を達成することが可能である。

【0064】図51は、本発明のレンズ系を適用し得る電子撮像カメラの一例を示す図で、(A)は模式的に表わしたもの、(B)はレンズ系の断面図、(C)は反射面を用いずに(B)のレンズ系をカメラに適用した場合又(D)は反射面を用いて適用した場合を示す。これら図において、1は物体から見たレンズ系、2はレンズ系の光軸、3は像面、4は各レンズ、5は枠、6は反射面である。又図においてxはカメラの奥行き方向、yはカメラの長さ方向、tはレンズの全長を示している。

【0065】近年、背広やシャツのポケットに入れられる程度の小型サイズのカメラの要求が高く、特に薄型化、つまり図51の(A)のx方向の長さを短くすることが望まれている。しかし、高い結像性能を持つ光学系を達成するにはレンズ全長は長くなる傾向にあり、小型化と高性能化の両立は極めて困難である。そのため、この第4の構成では、反射面を用いて光路を曲げてカメラの薄型化の要求を満足するようにした。例えば、図51(B)に示す全長tのレンズ系を反射面を用いずに、図51(A)のカメラに適用する場合、図51(C)に示すようにレンズ系がカメラのx方向に収まり切らず、カメラ本体から飛び出てしまう。そこで、図51(D)に示すように反射面6をレンズ系の一部に用いて、光路を折り曲げることにより、カメラのx方向にレンズ系がはみ出すことなく収納することを可能にした。

【0066】また、本発明のレンズ系の第4の構成において、倍率の色収差を良好に補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズが条件(1)を満足することが望ましい。この条件(1)を満足すれば倍率の色収差を良好に補正することが可能である。もし条件(1)を満足しないと色収差が補正不足になり好ましくない。

【0067】また本発明のレンズ系の第4の構成においてベッツパール和および倍率の色収差を良好に補正するためには条件(2)を満足することが望ましい。この第4の構成において条件(2)を満足すれば屈折率分布レ

ンズの媒質の屈折力が十分大きな値になりベッツパール和および色収差を良好に補正できる。もし条件(2)の上限値の-0.005を超えるとベッツパール和が補正不足になり像面が物体側に倒れかかるかあるいは倍率の色収差が補正不足になり好ましくない。もし条件(2)の下限値の-2を超えるとベッツパール和が補正過剰になり像面が物体から遠ざかる方向に倒れ好ましくない。

【0068】次に、本発明の第1乃至第4の構成において、倍率の色収差を一層良好に補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズが次の条件(5)を満足することが望ましい。

$$\text{【0069】(5)} \quad 1/V_1 < 0.012$$

前述のようにラジアル型屈折率分布レンズが条件(1)を満足すれば同じ屈折力の均質レンズと比較して色収差の発生量を小さくすることが可能であるが、 $V_1$ の値が $V_0$ の値に近いと色収差補正効果が小さくなる。そのため条件(5)を満足することが望ましい。もし条件(5)を満足しないと倍率の色収差が補正不足になるため好ましくない。

【0070】また、本発明の上記各構成のレンズ系に画素ピッチの細かい撮像素子を用いてより高性能撮像レンズ系を達成するためには、ラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(6)を満足することが望ましい。

【0071】

$$(6) \quad -0.2 < 1/V_1 < 0.007$$

もし、条件(6)において上限値の0.007を超えるとレンズ系全系の倍率の色収差が補正不足になるため好ましくない。又下限値の-0.2を超えると全系の倍率の色収差が補正過剰になり好ましくない。

【0072】また、本発明の前記各構成(第1乃至第4の構成)のレンズ系において、ラジアル型屈折率分布レンズが前記条件(1)を満足すれば同じ屈折力の均質レンズと比較して色収差の発生量を少なくすることが可能である。しかし、本発明のレンズ系において画角の広いレンズ系を達成する場合に、倍率の色収差を良好に補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズの媒質で色収差を多少補正過剰にすることが望ましい。そのため、下記条件(7)を満足することが好ましい。

$$\text{【0073】(7)} \quad -0.1 < 1/V_1 < 0$$

上記条件(7)を満足すればラジアル型屈折率分布レンズの媒質で発生する色収差がやや補正過剰になり、レンズ系全系では倍率の色収差を良好に補正することが可能である。もし条件(7)において、上限値の0を超えると全系での倍率の色収差が補正不足になり好ましくない。又下限値の-0.1を超えると全系での倍率の色収差が補正過剰になるため好ましくない。

【0074】また、本発明の上記各構成のレンズ系において、倍率の色収差あるいはベッツパール和を良好に補正するためには条件(2)を満足することが望ましい。しかし、画素ピッチの細かい撮像素子を用いた高精細画



像システムに用いられる場合、ラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(8)を満足することが望ましい。

【0075】

$$(8) \quad -0.4 < N_1 \times f' < -0.05$$

もし、条件(8)の上限値の $-0.05$ を超えると倍率の色収差およびベッツパール和が補正不足になるため好ましくない。又、もし条件(8)の下限値の $-0.4$ を超えると倍率の色収差が補正過剰になるため好ましくない。

【0076】また、本発明の上記各構成のレンズ系においてラジアル型屈折率分布レンズが極端に厚くなるとフレアーや透過率の低下の原因になることがある。そのため、本発明の各構成のレンズ系のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(9)を満足することが望ましい。

$$【0077】(9) \quad 0.5 < t_e / f < 10$$

ただし $t_e$ はラジアル型屈折率分布レンズのレンズ厚である。

【0078】もし、条件(9)の下限値の $0.5$ を超えるとラジアル型屈折率分布レンズの媒質の屈折力が弱くなり倍率の色収差が補正不足になり好ましくない。また、上限値の $10$ を超えると上記屈折率分布レンズのレンズ厚が大になりフレアーや透過率が低下し好ましくない。

【0079】また、本発明の各構成のレンズ系において、ラジアル型屈折率分布レンズをその分布を表わす式の4次の分布係数 $N_4$ を適切な値にすることにより球面収差やコマ収差の発生量をコントロール出来る。そのため、本発明の各構成のレンズ系で、画角が広い時に問題になるコマ収差を良好に補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(10)を満足することが望ましい。

【0080】

$$(10) \quad -0.5 < N_4 \cdot f' < 0.5$$

もし、条件(10)の下限値の $-0.5$ を超えるとコマ収差が補正不足になり好ましくない。又上限値の $0.5$ を超えるとコマ収差が補正過剰になるため好ましくない。

【0081】また、本発明の上記各構成のレンズ系をより高い結像性能が要求されるシステムに適用する場合、上記条件(10)の代りに次の条件(11)を満足することが望ましい。

【0082】

$$(11) \quad -0.3 < N_4 \cdot f' < 0.3$$

もし、条件(11)の下限値の $-0.3$ を超えるとコマ収差が補正不足になり又上限値の $0.3$ を超えるとコマ収差が補正過剰になり、いずれの場合も十分に高い結像性能が得られなくなるため好ましくない。

【0083】本発明の上記各構成のレンズ系は、撮像装置や各種測定機器等に用いられ、又内視鏡対物レンズ系にも適用し得る。

【0084】また、本発明の各構成のレンズ系において、均質レンズあるいはラジアル型屈折率分布を特定波長成分をカットするローパスフィルターやバンドカットフィルターの効果を持つ光学素子で構成することによって小型で安価な撮像レンズ系を実現することが可能である。

【0085】例えばCCDは、赤外波長域に感度があるため、撮像素子としてこれを用いる場合、赤外波長成分をカットフィルターをレンズ系中に配置する必要がある。そのため、前記のように、例えばラジアル型屈折率分布レンズに、赤外波長成分をカットする機能を持たせれば、新たに赤外カットフィルターを用いずに済み、小型化およびコスト削減を達成し得る。

【0086】また、本発明の各構成のレンズ系において、均質レンズあるいはラジアル型屈折率分布レンズの少なくとも1面を非球面にすれば諸収差を更に良好に補正することが可能である。また屈折率分布レンズに非球面を設ける場合、樹脂やプラスチック、ガラス、液体等の透明体を接着あるいは密着させて非球面を形成できる。又精研削により屈折率分布レンズを非球面加工することも可能である。

【0087】また、本発明の各構成のレンズ系において、特に歪曲収差やコマ収差を良好に補正するためには、絞りよりも物体側に用いたラジアル型屈折率分布レンズの像側の面を凸面形状にし、光軸から周辺に行くにしたがって屈折率が小さくなるような屈折率分布にすることが望ましい。このような構成にすれば、光軸から周辺に行くにしたがって面での屈折力が弱くなり、この面で発生する歪曲収差およびコマ収差を良好に補正することが可能になる。

【0088】また、本発明の各構成のレンズ系において、特に軸外収差を良好に補正するためには、レンズ系中に少なくとも1枚凹面が絞りの側を向いたメニスカスレンズを用いることが望ましい。又このメニスカスレンズは、絞りより物体側の前群に用いる場合には負の屈折力を持たせ、絞りより像側の後群に用いる場合には正の屈折力を持たせることが望ましい。

【0089】本発明のレンズ系は、画角が広いため、絞りより物体側は負レンズで発生する軸外収差が絞りより像側では正レンズで発生する軸外収差の補正が困難である。そのために、これら収差を良好に補正するためには、前記の通りのメニスカスレンズを用いることが望ましい。又メニスカスレンズは高い精度の加工が困難な場合があり、特に両面の曲率半径の絶対値が小さい場合には困難である。そのため、比較的加工が容易な凹平形状のレンズと平凸形状のレンズとを平面で接着あるいは密着させてメニスカス形状のレンズとすれば、製作が容易であり、曲率の大きいメニスカスレンズを容易に作り得る。

【0090】また、本発明の上記各構成のレンズ系にお

いて、倍率の色収差を一層良好に補正するためには、レンズ系中に少なくとも1組の接合レンズを用いることが望ましい。特に接合レンズを絞りより像側に配置すれば倍率の色収差をより良好に補正することが可能になる。

【0091】また、安価なレンズ系にするためには、ラジアル型屈折率分布レンズが1枚であることが望ましい。

【0092】また、前述のようにレンズ系中に反射面を1面設ければレンズ系を小型にし得る。

【0093】また、レンズ研磨の加工コストを安くして、より安価なレンズ系にするためには、少なくとも1枚のレンズの少なくとも1面が平面形状であることが望ましい。

【0094】また本発明のレンズ系において、一部のレンズ又はレンズ系全体を光軸に沿って移動させて、至近距離物点へのフォーカシングを行なうことができる。

【0095】また、本発明の上記構成のレンズ系において、絞りよりも物体側の前群を少なくとも1枚の正レンズと、少なくとも1枚の負レンズで構成する時、特に前群で発生する倍率の色収差を良好に補正するためには下記条件(12)を満足することが望ましい。

【0096】(12)  $\nu_1 / \nu_2 < 0.95$

ただし、 $\nu_1$ 、 $\nu_2$  は夫々前群の正レンズおよび負レンズのアッベ数である。

【0097】もし、条件(12)を満足しないと全系での倍率の色収差が補正不足になり十分良好に補正し得ない。

【0098】また本発明の前記各構成のレンズ系をより高い結像性能を要するシステムに適用する場合は、前記条件(10)に加えて下記条件(13)を満足することが望ましい。

【0099】(13)  $\nu_1 / \nu_2 < 0.75$

もし、条件(13)を満足しないとレンズ系の倍率の色収差が補正不足になり、高い結像性能が要求されるシステムに適用する場合は補正が不十分であり好ましくない。

【0100】また、本発明の上記各構成のレンズ系において、特にベッツパール和を良好に補正するためにはレンズ系中に少なくとも1枚の正レンズと少なくとも1枚の負レンズとを用い、下記条件(14)を満足することが望ましい。

【0101】(14)  $1 < N_1 / N_2$

ただし $N_1$  は少なくとも1枚の正レンズの屈折率、 $N_2$  は少なくとも1枚の負レンズの屈折率である。

\*【0102】条件(14)を満足すれば正のベッツパール和を良好に補正し得る。条件(14)を満足しないとベッツパール和が補正不足になり像面が物体側へ倒れるので好ましくない。

【0103】また、本発明の上記構成のレンズ系を比較的画角の広いレンズ系とする場合にベッツパール和を良好に補正するためには、条件(14)の代りに条件(15)を満足することが望ましい。

【0104】(15)  $1 < N_1 / N_2$

もし、条件(15)を満足しないとベッツパール和が補正不足になる。

【0105】また、本発明の上記構成のレンズ系において、前群に少なくとも1枚の正レンズを有する場合、レンズ系全系の倍率の色収差を良好に補正するためには、前群中の少なくとも1枚の正レンズに、下記条件(16)を満足するような比較的高分散なガラスを用いることが望ましい。

【0106】(16)  $\nu_1 < 50$

ただし $\nu_1$  は前群中の少なくとも1枚の正レンズのアッベ数である。

【0107】条件(16)を満足すれば全系の倍率の色収差を良好に対することが出来る。この条件(16)を満足しないと全系での倍率の色収差が補正不足になり好ましくない。

【0108】また、倍率の色収差を更に良好に補正するためには、条件(16)に加えて下記条件(17)を満足することが望ましい。

【0109】(17)  $\nu_1 < 42$

もし、条件(17)を満足しないと、レンズ系全系での倍率色収差が補正不足になり、好ましくない。

【0110】又、本発明では、屈折率分布素材が持つ触媒の屈折率変化を式(a)で表わす2乗式で近似している。そこで、式(a)以外の式で表わされている屈折率分布素材の場合でも、これを式(a)で近似して、本発明のレンズ系に適用することは可能である。本発明のレンズ系は、特許請求の範囲の各請求項に記載されているものに限りなく、実質的に各クレームに記載された構成を満足していれば良い。

【0111】

【発明の実施の形態】次に本発明のレンズ系の実施の形態を各実施例にもとづいて詳細に説明する。

【0112】本発明の各実施例のレンズ系は、図1乃至図50に示す構成で次のデーターを有するものである。

実施例1

$f = 2.27\text{mm}$ , Fナンバー=2.8,  $IH = 1.85\text{mm}$ ,  $2\omega = 79.0^\circ$

$r_1 = 3.5530$

$d_1 = 1.0000$

$n_1 = 1.84666$

$\nu_1 = 23.78$

$r_2 = 7.2949$

$d_2 = 0.1000$

$r_3 = 2.5193$

$d_3 = 0.6844$

$n_2 = 1.88300$

$\nu_2 = 40.78$

$r_4 = 0.7524$

$d_4 = 0.8850$

$r_5 = \infty$

$d_5 = 0.3600$

15

16

$r_0 = \infty$ (絞り)	$d_0 = 0.0500$		
$r_1 = -6.6704$	$d_1 = 0.6000$	$n_1 = 1.49700$	$\nu_1 = 81.61$
$r_2 = -1.2025$	$d_2 = 0.1000$		
$r_3 = \infty$	$d_3 = 4.7630$	$n_4$ (屈折率分布レンズ)	
$r_{10} = -3.1659$	$d_{10} = 0.1000$		
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 0.7500$	$n_5 = 1.48749$	$\nu_5 = 70.21$
$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 1.1900$		
$r_{13} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.65000	$-1.7533 \times 10^{-2}$	$2.4961 \times 10^{-3}$	$7.0121 \times 10^{-5}$
C 線	1.64567	$-1.7575 \times 10^{-2}$	$2.4961 \times 10^{-3}$	$7.0121 \times 10^{-5}$
F 線	1.66011	$-1.7436 \times 10^{-2}$	$2.4961 \times 10^{-3}$	$7.0121 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = -0.80 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.090$				
$t_0/f = 2.10$ , $N_2 \cdot f^2 = 0.066$ , $\nu_1/\nu_5 = 0.58$				
$N_5/N_1 = 0.981$ , $\nu_5 = 23.78$				

## 【0113】実施例2

 $f = 2.86\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 68.5^\circ$ 

$r_1 = 5.7537$	$d_1 = 0.8000$	$n_1 = 1.84666$	$\nu_1 = 23.78$
$r_2 = 26.0340$	$d_2 = 0.1000$		
$r_3 = 1.8606$	$d_3 = 0.7795$	$n_4 = 1.76182$	$\nu_4 = 26.52$
$r_4 = 0.9682$	$d_4 = 0.5595$		
$r_5 = -4.2257$	$d_5 = 4.1244$	$n_5$ (屈折率分布レンズ)	
$r_6 = -2.7820$	$d_6 = 0.1000$		
$r_7 = 5.4979$	$d_7 = 0.9000$	$n_8 = 1.61800$	$\nu_8 = 63.39$
$r_8 = -10.1657$	$d_8 = 0.7424$		
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.7500$	$n_5 = 1.48749$	$\nu_5 = 70.21$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.1900$		
$r_{11} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.65000	$-1.5265 \times 10^{-2}$	$2.0401 \times 10^{-4}$	$1.3920 \times 10^{-4}$
C 線	1.64567	$-1.5314 \times 10^{-2}$	$2.0401 \times 10^{-4}$	$1.3920 \times 10^{-4}$
F 線	1.66011	$-1.5150 \times 10^{-2}$	$2.0401 \times 10^{-4}$	$1.3920 \times 10^{-4}$

(フォーカシング)

物点無限遠

物点 5.0mm

$d_1$	0.1	0.9039	
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = -1.07 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.125$			
$t_0/f = 1.44$ , $N_2 \cdot f^2 = 0.014$ , $\nu_1/\nu_5 = 0.90$			
$N_5/N_1 = 1.048$ , $\nu_5 = 23.78$			

## 【0114】実施例3

 $f = 3.46\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 58.1^\circ$ 

$r_1 = 6.6606$	$d_1 = 1.0000$	$n_1 = 1.84666$	$\nu_1 = 23.78$
$r_2 = -135.2532$	$d_2 = 0.1000$		
$r_3 = 43.7393$	$d_3 = 0.7000$	$n_4 = 1.81600$	$\nu_4 = 46.62$
$r_4 = 2.0326$	$d_4 = 2.4197$		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 1.3352$		
$r_6 = \infty$	$d_6 = 4.4721$	$n_5$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -4.1696$	$d_7 = 1.0000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.6600$	$n_8 = 1.51633$	$\nu_8 = 64.15$

17		18	
$r_1 = \infty$	$d_1 = 1.8180$	$n_1 = 1.51633$	$v_1 = 64.15$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.6000$		
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 0.7500$	$n_1 = 1.48749$	$v_1 = 70.21$
$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 1.1887$		
$r_{13} = \infty$ (像)			
屈折率分布レンズ			
$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線 1.70000	$-1.0460 \times 10^{-2}$	$2.9333 \times 10^{-4}$	$1.6591 \times 10^{-5}$
C 線 1.69533	$-1.0614 \times 10^{-2}$	$2.9333 \times 10^{-4}$	$1.6591 \times 10^{-5}$
F 線 1.71089	$-1.0102 \times 10^{-2}$	$2.9333 \times 10^{-4}$	$1.6591 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-1}$ , $1/V_1 = -4.89 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.125$			
$t_0/f = 1.29$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.042$ , $v_0/v_1 = 0.51$			
$N_0/N_1 = 1.017$ , $v_0 = 23.78$			

## 【0115】実施例4

$f = 3.0\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm, $2\omega = 65.0^\circ$			
$r_1 = 7.5983$	$d_1 = 1.0000$	$n_1 = 1.84666$	$v_1 = 23.78$
$r_2 = 164.7782$	$d_2 = 0.1000$		
$r_3 = 17.0366$	$d_3 = 0.7000$	$n_1 = 1.78800$	$v_1 = 47.38$
$r_4 = 1.9781$	$d_4 = 2.2073$		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 1.1207$		
$r_6 = \infty$	$d_6 = 4.9793$	$n_1$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -3.8179$	$d_7 = 1.0000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.8180$	$n_1 = 1.51633$	$v_1 = 64.15$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.6000$		
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 0.7500$	$n_1 = 1.48749$	$v_1 = 70.21$
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 1.1906$		
$r_{12} = \infty$ (像)			
屈折率分布レンズ			
$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線 1.70000	$-1.1339 \times 10^{-2}$	$4.8463 \times 10^{-4}$	$3.7447 \times 10^{-5}$
C 線 1.69533	$-1.1490 \times 10^{-2}$	$4.8463 \times 10^{-4}$	$3.7447 \times 10^{-5}$
F 線 1.71089	$-1.0988 \times 10^{-2}$	$4.8463 \times 10^{-4}$	$3.7447 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-1}$ , $1/V_1 = -4.43 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.102$			
$t_0/f = 1.66$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.039$ , $v_0/v_1 = 0.50$			
$N_0/N_1 = 1.032$ , $v_0 = 23.78$			

## 【0116】実施例5

$f = 2.39\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm, $2\omega = 77.6^\circ$			
$r_1 = 6.3059$	$d_1 = 1.0000$	$n_1 = 1.84666$	$v_1 = 23.78$
$r_2 = 18.6365$	$d_2 = 0.1000$		
$r_3 = 6.1423$	$d_3 = 0.7000$	$n_1 = 1.72916$	$v_1 = 54.68$
$r_4 = 1.4183$	$d_4 = 1.5721$		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.5021$		
$r_6 = \infty$	$d_6 = 4.1834$	$n_1$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -2.8211$	$d_7 = 2.0376$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_1 = 1.48749$	$v_1 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1933$		
$r_{10} = \infty$ (像)			
屈折率分布レンズ			
$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線 1.70000	$-2.0804 \times 10^{-2}$	$59.5598 \times 10^{-4}$	$2.7535 \times 10^{-4}$

	19		20
C線	1.69533	$-2.1050 \times 10^{-3}$	$1.5598 \times 10^{-3}$
F線	1.71089	$-2.0229 \times 10^{-3}$	$1.5598 \times 10^{-3}$
(フォーカシング)			
	物点無限遠		物点 5 0 mm
d.	1.5721		1.9210
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -3.95 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.119$ $t_0/f = 1.75$ , $N_1 \cdot f^4 = 0.051$ , $v_0/v_1 = 0.43$ $N_0/N_1 = 1.068$ , $v_0 = 23.78$			

## 【0117】実施例6

$f = 2.64\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm, $2\omega = 68.1^\circ$				
$r_1 = 4.9123$	$d_1 = 1.0000$	$n_1 = 1.84666$	$v_1 = 23.78$	
$r_2 = 18.2873$	$d_2 = 0.1000$			
$r_3 = 4.6913$	$d_3 = 0.7000$	$n_3 = 1.77250$	$v_3 = 49.60$	
$r_4 = 1.4914$	$d_4 = 0.6000$			
$r_5 = \infty$	$d_5 = 0.1000$			
$r_6 = -4.4328$	$d_6 = 7.4209$	$n_6$ (屈折率分布レンズ)		
$r_7 = -2.7924$	$d_7 = 1.9062$			
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$v_8 = 70.21$	
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1902$			
$r_{10} = \infty$ (像)				

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.65000	$-1.7286 \times 10^{-3}$	$1.5861 \times 10^{-3}$	$2.5037 \times 10^{-4}$
C線	1.64567	$-1.7331 \times 10^{-3}$	$1.5861 \times 10^{-3}$	$2.5037 \times 10^{-4}$
F線	1.66011	$-1.7181 \times 10^{-3}$	$1.5861 \times 10^{-3}$	$2.5037 \times 10^{-4}$
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -0.89 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.120$				
$t_0/f = 2.81$ , $N_1 \cdot f^4 = 0.077$ , $v_0/v_1 = 0.48$				
$N_0/N_1 = 1.042$ , $v_0 = 23.78$				

## 【0118】実施例7

$f = 2.96\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm, $2\omega = 66.7^\circ$				
$r_1 = 6.4539$	$d_1 = 0.6000$	$n_1 = 1.84666$	$v_1 = 23.78$	
$r_2 = \infty$	$d_2 = 0.0500$			
$r_3 = 1.5195$	$d_3 = 0.4000$	$n_3 = 1.69680$	$v_3 = 55.53$	
$r_4 = 1.0326$	$d_4 = 0.4303$			
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.0200$			
$r_6 = -2.8717$	$d_6 = 4.8255$	$n_6$ (屈折率分布レンズ)		
$r_7 = -3.2719$	$d_7 = 0.8283$			
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$v_8 = 70.21$	
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1901$			
$r_{10} = \infty$ (像)				

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.70000	$-3.8291 \times 10^{-3}$	$-8.1824 \times 10^{-5}$	$-1.5300 \times 10^{-5}$
C線	1.69533	$-3.8331 \times 10^{-3}$	$-8.1824 \times 10^{-5}$	$-1.5300 \times 10^{-5}$
F線	1.71089	$-3.8198 \times 10^{-3}$	$-8.1824 \times 10^{-5}$	$-1.5300 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -0.35 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.335$				
$t_0/f = 1.63$ , $N_1 \cdot f^4 = -0.006$ , $v_0/v_1 = 0.43$				
$N_0/N_1 = 1.088$ , $v_0 = 23.78$				

## 【0119】実施例8

 $f = 3.14\text{mm}$ , Fナンバー=2.0, 像高=1.85mm,  $2\omega = 62.1^\circ$

21			22
$r_1 = -19.6459$ (非球面)	$d_1 = 0.9000$	$n_1 = 1.83400$	$\nu_1 = 37.17$
$r_2 = -6.7757$	$d_2 = 0.0500$		
$r_3 = 3.4584$	$d_3 = 0.8000$	$n_2 = 1.56907$	$\nu_2 = 71.30$
$r_4 = 1.6265$	$d_4 = 1.2384$		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 1.2368$		
$r_6 = \infty$	$d_6 = 2.2372$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -2.9732$	$d_7 = 1.6179$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_4 = 1.48749$	$\nu_4 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1903$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

非球面係数

$$A_1 = -3.3410 \times 10^{-1}, A_2 = 1.7516 \times 10^{-4}, A_3 = -8.3062 \times 10^{-8}$$

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.80000	$-2.0124 \times 10^{-2}$	$1.1965 \times 10^{-3}$	$3.4283 \times 10^{-4}$
C 線	1.79520	$-2.0628 \times 10^{-2}$	$1.1965 \times 10^{-3}$	$3.4283 \times 10^{-4}$
F 線	1.81120	$-1.8950 \times 10^{-2}$	$1.1965 \times 10^{-3}$	$3.4283 \times 10^{-4}$
$1/V_0 = 2.0 \times 10^{-3}, 1/V_1 = -8.33 \times 10^{-3}, N_1 \cdot f' = -0.198$				
$t_0/f = 0.71, N_2 \cdot f' = 0.116, \nu_0/\nu_4 = 0.52$				
$N_3/N_4 = 1.169, \nu_3 = 37.17$				

## 【0120】実施例 9

 $f = 3.02\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm,  $2\omega = 61.0^\circ$ 

$r_1 = 4.2701$	$d_1 = 0.8000$	$n_1 = 1.78470$	$\nu_1 = 26.22$
$r_2 = 9.9483$	$d_2 = 0.0500$		
$r_3 = 2.5823$	$d_3 = 0.6000$	$n_2 = 1.72600$	$\nu_2 = 53.57$
$r_4 = 1.4322$	$d_4 = 0.7000$		
$r_5 = -22.0130$	$d_5 = 5.4365$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)	
$r_6 = -2.3784$	$d_6 = 0.1200$	$n_4 = 1.51742$	$\nu_4 = 52.42$
$r_7 = -2.3784$ (非球面)	$d_7 = 0.4964$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_5 = 1.48749$	$\nu_5 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1894$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

非球面係数

$$A_1 = 2.4484 \times 10^{-3}, A_2 = -5.5068 \times 10^{-5}, A_3 = 2.1303 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = -2.4346 \times 10^{-4}$$

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	1.76000	$-1.7605 \times 10^{-2}$	$-5.0256 \times 10^{-5}$
C 線	1.75562	$-1.7605 \times 10^{-2}$	$-5.0256 \times 10^{-5}$
F 線	1.77023	$-1.7606 \times 10^{-2}$	$-5.0256 \times 10^{-5}$

(フォーカシング)

	物点無限遠	物点 50mm
$d_1$	0.4964	0.6684
$1/V_0 = 1.92 \times 10^{-3}, 1/V_1 = 0.64 \times 10^{-4}, N_1 \cdot f' = -0.161$		
$t_0/f = 1.80, N_2 \cdot f' = -0.004, \nu_0/\nu_5 = 0.49$		
$N_3/N_5 = 1.034, \nu_3 = 26.22$		

## 【0121】実施例 10

 $f = 3.07\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm,  $2\omega = 65.0^\circ$ 

$r_1 = -4.2073$	$d_1 = 0.6000$	$n_1 = 1.59551$	$\nu_1 = 39.21$
$r_2 = 1.8362$	$d_2 = 0.3593$		

23		24	
$r_1 = 2.9430$	$d_1 = 0.7000$	$n_1 = 1.88300$	$\nu_1 = 40.78$
$r_2 = -3.4180$	$d_2 = 0.5383$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 0.6832$		
$r_4 = -2.5795$	$d_4 = 5.0077$	$n_4$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = -8.1779$	$d_5 = 0.1000$		
$r_6 = 8.8570$	$d_6 = 0.8000$	$n_6 = 1.69680$	$\nu_6 = 55.53$
$r_7 = \infty$	$d_7 = 0.7500$	$n_7 = 1.48749$	$\nu_7 = 70.21$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.1867$		
$r_{11} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.65000	$-2.7276 \times 10^{-2}$	$4.8438 \times 10^{-4}$	$1.9531 \times 10^{-4}$
C 線	1.64567	$-2.7317 \times 10^{-2}$	$4.8438 \times 10^{-4}$	$1.9531 \times 10^{-4}$
F 線	1.66011	$-2.7183 \times 10^{-2}$	$4.8438 \times 10^{-4}$	$1.9531 \times 10^{-4}$

(フォーカシング)

	物点無限遠	物点 5.0mm
$d_1$	0.3513	0.4332
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = -0.49 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.069$		
$t_0/f = 1.63$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.043$ , $\nu_1/\nu_2 = 1.04$		
$N_1/N_2 = 1.180$ , $\nu_1 = 40.78$		

## 【0122】実施例 11

$f = 3.07\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm, $2\omega = 64.8^\circ$			
$r_1 = -52.6988$	$d_1 = 0.6000$	$n_1 = 1.69680$	$\nu_1 = 55.53$
$r_2 = 2.0260$	$d_2 = 1.2468$		
$r_3 = 4.6995$	$d_3 = 0.6000$	$n_3 = 1.88300$	$\nu_3 = 40.78$
$r_4 = -3.9734$	$d_4 = 0.2442$		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.3406$		
$r_6 = -3.3187$	$d_6 = 7.9754$	$n_6$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -11.9444$	$d_7 = 0.1000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1902$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
d 線	1.65000	-1.8001 × 10 <sup>-2</sup>	8.0872 × 10 <sup>-4</sup>	7.8852 × 10 <sup>-5</sup>
C 線	1.64567	-1.8047 × 10 <sup>-2</sup>	8.0872 × 10 <sup>-4</sup>	7.8852 × 10 <sup>-5</sup>
F 線	1.66011	-1.7892 × 10 <sup>-2</sup>	8.0872 × 10 <sup>-4</sup>	7.8852 × 10 <sup>-5</sup>
1/V <sub>0</sub> = 2.22 × 10 <sup>-2</sup> , 1/V <sub>1</sub> = -0.86 × 10 <sup>-2</sup> , N <sub>1</sub> · f <sup>2</sup> = -0.170				
t <sub>0</sub> / f = 2.60, N <sub>2</sub> · f <sup>4</sup> = 0.072, ν <sub>1</sub> / ν <sub>2</sub> = 0.73				
N <sub>1</sub> / N <sub>2</sub> = 1.110, ν <sub>1</sub> = 40.78				

## 【0123】実施例 12

$f = 2.59\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm, $2\omega = 75.8^\circ$			
$r_1 = 4.9859$	$d_1 = 1.3500$	$n_1 = 1.77250$	$\nu_1 = 49.60$
$r_2 = 2.7950$	$d_2 = 0.4000$		
$r_3 = 2.6177$	$d_3 = 1.1000$	$n_3 = 1.77250$	$\nu_3 = 49.60$
$r_4 = 1.2810$	$d_4 = 0.9427$		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.2000$		
$r_6 = 6.0933$	$d_6 = 5.7745$	$n_6$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -2.8842$	$d_7 = 1.8214$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$

25

26

 $r_0 = \infty$   $d_0 = 1.1901$  $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.70000	$-1.4948 \times 10^{-2}$	$1.5592 \times 10^{-3}$	$4.2190 \times 10^{-4}$
C 線	1.69533	$-1.5195 \times 10^{-2}$	$1.5592 \times 10^{-3}$	$4.2190 \times 10^{-4}$
F 線	1.71089	$-1.4371 \times 10^{-2}$	$1.5592 \times 10^{-3}$	$4.2190 \times 10^{-4}$

$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = -5.51 \times 10^{-2}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.100$   
 $t_0/f = 2.23$ ,  $N_2 \cdot f^4 = 0.070$

## 【0124】実施例13

 $f = 3.64\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 57.6^\circ$  $r_1 = 2.0342$   $d_1 = 0.8500$   $n_1 = 1.80518$   $\nu_1 = 25.43$  $r_2 = 1.3259$  (非球面)  $d_2 = 0.4500$  $r_3 = \infty$  (絞り)  $d_3 = 0.2000$  $r_4 = -10.0164$   $d_4 = 6.3071$   $n_4$  (屈折率分布レンズ) $r_5 = -3.6346$   $d_5 = 0.1000$  $r_6 = -27.3485$   $d_6 = 1.0000$   $n_6 = 1.74100$   $\nu_6 = 52.65$  $r_7 = -9.9029$   $d_7 = 2.3402$  $r_8 = \infty$   $d_8 = 0.7500$   $n_8 = 1.48749$   $\nu_8 = 70.21$  $r_9 = \infty$   $d_9 = 1.1901$  $r_{10} = \infty$  (像)

非球面係数

 $A_1 = -6.9685 \times 10^{-2}$ ,  $A_2 = 2.7911 \times 10^{-1}$ ,  $A_3 = -3.3381 \times 10^{-1}$ 

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.75000	$-9.5571 \times 10^{-2}$	$5.7265 \times 10^{-4}$	$1.6340 \times 10^{-5}$
C 線	1.74550	$-9.7013 \times 10^{-2}$	$5.7265 \times 10^{-4}$	$1.6340 \times 10^{-5}$
F 線	1.76050	$-9.2207 \times 10^{-2}$	$5.7265 \times 10^{-4}$	$1.6340 \times 10^{-5}$

$1/V_0 = 2.0 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = -5.03 \times 10^{-2}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.127$   
 $t_0/f = 1.73$ ,  $N_2 \cdot f^4 = 0.100$ ,  $N_3/N_2 = 0.964$

## 【0125】実施例14

 $f = 3.82\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 55^\circ$  $r_1 = 2.2577$   $d_1 = 0.7500$   $n_1 = 1.83400$   $\nu_1 = 37.17$  $r_2 = 1.5259$   $d_2 = 0.4000$  $r_3 = \infty$  (絞り)  $d_3 = 0.2525$  $r_4 = -11.0756$   $d_4 = 5.8515$   $n_4$  (屈折率分布レンズ) $r_5 = -3.1807$   $d_5 = 0.1000$  $r_6 = 5.8102$   $d_6 = 1.4245$   $n_6 = 1.83481$   $\nu_6 = 42.72$  $r_7 = 4.2325$   $d_7 = 1.3322$  $r_8 = \infty$   $d_8 = 0.7500$   $n_8 = 1.48749$   $\nu_8 = 70.21$  $r_9 = \infty$   $d_9 = 1.1903$  $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.65000	$-1.3647 \times 10^{-2}$	$3.7226 \times 10^{-4}$	$8.7315 \times 10^{-5}$
C 線	1.64567	$-1.3790 \times 10^{-2}$	$3.7226 \times 10^{-4}$	$8.7315 \times 10^{-5}$
F 線	1.66011	$-1.3314 \times 10^{-2}$	$3.7226 \times 10^{-4}$	$8.7315 \times 10^{-5}$

$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = -3.49 \times 10^{-2}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.199$   
 $t_0/f = 1.53$ ,  $N_2 \cdot f^4 = 0.079$

## 【0126】実施例15

50



27

28

 $f = 3.57\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 58.3^\circ$ 

$r_1 = 2.4980$	$d_1 = 0.7800$	$n_1 = 1.88300$	$\nu_1 = 40.78$
$r_2 = 1.5033$	$d_2 = 0.7500$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 0.2000$		
$r_4 = 3.2307$	$d_4 = 0.6000$	$n_4 = 1.76182$	$\nu_4 = 26.55$
$r_5 = 2.6645$	$d_5 = 0.3000$		
$r_6 = -38.9333$	$d_6 = 4.4475$	$n_6$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -3.0418$	$d_7 = 3.0516$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1900$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.68000	$-1.7550 \times 10^{-2}$	$2.1285 \times 10^{-4}$	$3.5758 \times 10^{-5}$
C線	1.67514	$-1.7719 \times 10^{-2}$	$2.1285 \times 10^{-4}$	$3.5758 \times 10^{-5}$
F線	1.69133	$-1.7157 \times 10^{-2}$	$2.1285 \times 10^{-4}$	$3.5758 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = -3.20 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.224$				
$t_0/f = 1.25$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.035$				

## 【0127】実施例16

 $f = 3.41\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 60.5^\circ$ 

$r_1 = 1.7346$	$d_1 = 0.7342$	$n_1 = 1.81600$	$\nu_1 = 46.62$
$r_2 = 0.9887$	$d_2 = 0.4000$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 0.2000$		
$r_4 = -39.6075$	$d_4 = 2.0388$	$n_4 = 1.72916$	$\nu_4 = 54.68$
$r_5 = -1.8409$	$d_5 = 0.3202$		
$r_6 = -2.6460$	$d_6 = 3.6440$	$n_6$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -3.7659$	$d_7 = 1.7547$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1926$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.68000	$-1.7780 \times 10^{-2}$	$6.1714 \times 10^{-4}$	$9.9867 \times 10^{-5}$
C線	1.67514	$-1.7942 \times 10^{-2}$	$6.1714 \times 10^{-4}$	$9.9867 \times 10^{-5}$
F線	1.69133	$-1.7403 \times 10^{-2}$	$6.1714 \times 10^{-4}$	$9.9867 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = -3.03 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.207$				
$t_0/f = 1.07$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.083$ , $N_3/N_2 = 0.952$				

## 【0128】実施例17

 $f = 3.81\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 55.5^\circ$ 

$r_1 = 10.6141$	$d_1 = 0.8000$	$n_1 = 1.56907$	$\nu_1 = 71.30$
$r_2 = 2.7054$	$d_2 = 1.7762$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 1.3145$		
$r_4 = \infty$	$d_4 = 8.1554$	$n_4$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = -5.5218$	$d_5 = 1.0000$		
$r_6 = \infty$	$d_6 = 1.6000$	$n_6 = 1.51633$	$\nu_6 = 64.15$
$r_7 = \infty$	$d_7 = 2.0200$	$n_7 = 1.51633$	$\nu_7 = 64.15$
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.6000$		
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.7500$	$n_9 = 1.48749$	$\nu_9 = 70.21$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.0009$		
$r_{11} = \infty$ (像)			

## 屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.70000	$-7.3313 \times 10^{-3}$	$1.0613 \times 10^{-4}$	$2.9899 \times 10^{-8}$
C 線	1.69533	$-7.4031 \times 10^{-3}$	$1.0613 \times 10^{-4}$	$2.9899 \times 10^{-8}$
F 線	1.71089	$-7.1636 \times 10^{-3}$	$1.0613 \times 10^{-4}$	$2.9899 \times 10^{-8}$
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -3.27 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.106$				
$t_0/f = 2.14$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.022$				

## 【0129】実施例18

$f = 3.51\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 57.0^\circ$

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.1500$		
$r_2 = -4.2775$	$d_2 = 0.5000$	$n_1 = 1.88300$	$\nu_1 = 40.78$
$r_3 = -2.2363$	$d_3 = 0.3000$		
$r_4 = -1.6050$	$d_4 = 0.4000$	$n_2 = 1.62004$	$\nu_2 = 36.26$
$r_5 = 2.5841$	$d_5 = 1.0000$	$n_3 = 1.88300$	$\nu_3 = 40.78$
$r_6 = -2.9650$	$d_6 = 0.2500$		
$r_7 = -2.2178$	$d_7 = 3.9757$	$n_4$ (屈折率分布レンズ)	
$r_8 = -3.5973$	$d_8 = 1.5185$		
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.7500$	$n_5 = 1.48749$	$\nu_5 = 70.21$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.1900$		
$r_{11} = \infty$ (像)			

## 屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.65000	$-2.0714 \times 10^{-2}$	$9.1885 \times 10^{-4}$	$1.6164 \times 10^{-4}$
C 線	1.64536	$-2.0838 \times 10^{-2}$	$9.1885 \times 10^{-4}$	$1.6164 \times 10^{-4}$
F 線	1.66083	$-2.0424 \times 10^{-2}$	$9.1885 \times 10^{-4}$	$1.6164 \times 10^{-4}$
$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = -2.0 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.255$				
$t_0/f = 1.13$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.139$ , $N_3/N_2 = 1.162$				

## 【0130】実施例19

$f = 3.34\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 59.2^\circ$

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.0500$		
$r_2 = 8.3724$	$d_2 = 0.6000$	$n_1 = 1.77250$	$\nu_1 = 49.60$
$r_3 = -6.4998$ (非球面)	$d_3 = 0.6004$		
$r_4 = -1.3705$	$d_4 = 3.0666$	$n_2$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = -2.6175$	$d_5 = 0.0500$		
$r_6 = 4.5221$	$d_6 = 0.4000$	$n_3 = 1.84666$	$\nu_3 = 23.78$
$r_7 = 2.4448$	$d_7 = 1.7896$	$n_4 = 1.74100$	$\nu_4 = 52.65$
$r_8 = 8.1154$	$d_8 = 0.5251$		
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.7500$	$n_5 = 1.48749$	$\nu_5 = 70.21$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.1901$		
$r_{11} = \infty$ (像)			

## 非球面係数

$A_4 = -3.5905 \times 10^{-1}$ ,  $A_6 = 1.6008 \times 10^{-1}$ ,  $A_8 = -4.3928 \times 10^{-1}$   
 $A_{10} = 4.0592 \times 10^{-1}$

## 屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.68000	$-1.8152 \times 10^{-2}$	$6.6614 \times 10^{-4}$	$3.9599 \times 10^{-4}$
C 線	1.67566	$-1.8152 \times 10^{-2}$	$6.6614 \times 10^{-4}$	$3.9599 \times 10^{-4}$
F 線	1.69013	$-1.8152 \times 10^{-2}$	$6.6614 \times 10^{-4}$	$3.9599 \times 10^{-4}$
$1/V_0 = 2.13 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = 0$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.202$				
$t_0/f = 0.92$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.08359$ , $N_3/N_2 = 0.960$				

## 【0131】実施例20

$f = 3.38\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 60.4^\circ$

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.0500$		
$r_2 = 36.0547$	$d_2 = 0.6000$	$n_1 = 1.88300$	$\nu_1 = 40.78$
$r_3 = -6.9767$	$d_3 = 0.7937$		
$r_4 = -1.6638$	$d_4 = 2.7522$	$n_2$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = -2.5548$	$d_5 = 0.0500$		
$r_6 = 4.7748$	$d_6 = 2.1000$	$n_3 = 1.77250$	$\nu_3 = 49.60$
$r_7 = -2.9710$	$d_7 = 0.5000$	$n_4 = 1.80518$	$\nu_4 = 25.43$
$r_8 = 7.8073$	$d_8 = 0.3000$		
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.7500$	$n_5 = 1.48749$	$\nu_5 = 70.21$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.1909$		
$r_{11} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.66000	$-1.5683 \times 10^{-1}$	$1.9657 \times 10^{-4}$	$3.4070 \times 10^{-4}$
C線	1.65479	$-1.5699 \times 10^{-1}$	$1.9657 \times 10^{-4}$	$3.4070 \times 10^{-4}$
F線	1.67216	$-1.5647 \times 10^{-1}$	$1.9657 \times 10^{-4}$	$3.4070 \times 10^{-4}$

(フォーカシング)

	物点無限遠	物点50mm
$d_1$	0.3	0.5322
$1/V_0 = 2.63 \times 10^{-1}$ , $1/V_1 = -3.33 \times 10^{-1}$ , $N_1 \cdot f' = -0.179$		
$t_0/f = 0.81$ , $N_1 \cdot f' = 0.026$ , $N_0/N_1 = 1.043$		

## 【0132】実施例21

$f = 3.84\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 53.4^\circ$

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.2000$		
$r_2 = 30.5251$	$d_2 = 1.0000$	$n_1 = 1.88300$	$\nu_1 = 40.78$
$r_3 = -4.4735$	$d_3 = 0.4950$		
$r_4 = -2.4236$	$d_4 = 4.7639$	$n_2 = 1.88300$	$\nu_2 = 40.78$
$r_5 = -4.0027$	$d_5 = 0.1500$		
$r_6 = 6.5997$	$d_6 = 2.4181$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = 5.8898$	$d_7 = 0.8000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_4 = 1.48749$	$\nu_4 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1897$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.58000	$-1.8284 \times 10^{-1}$	$2.1401 \times 10^{-5}$	$6.3733 \times 10^{-5}$
C線	1.57665	$-1.8520 \times 10^{-1}$	$2.1401 \times 10^{-5}$	$6.3733 \times 10^{-5}$
F線	1.58781	$-1.7735 \times 10^{-1}$	$2.1401 \times 10^{-5}$	$6.3733 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 1.92 \times 10^{-1}$ , $1/V_1 = -4.29 \times 10^{-1}$ , $N_1 \cdot f' = -0.270$				
$t_0/f = 0.63$ , $N_1 \cdot f' = 0.005$				

## 【0133】実施例22

$f = 3.52\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 56.5^\circ$

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.1000$		
$r_2 = -6.5217$	$d_2 = 0.5000$	$n_1 = 1.88300$	$\nu_1 = 40.78$
$r_3 = -3.3361$	$d_3 = 0.9532$		
$r_4 = -1.2433$	$d_4 = 1.3987$	$n_2 = 1.69895$	$\nu_2 = 30.12$
$r_5 = -1.9908$	$d_5 = 0.1000$		
$r_6 = -24.6308$	$d_6 = 3.6086$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)	

33

34

$r_1 = -4.6261$        $d_1 = 1.8870$   
 $r_2 = \infty$        $d_2 = 0.7500$        $n_2 = 1.48749$        $\nu_2 = 70.21$   
 $r_3 = \infty$        $d_3 = 1.1902$   
 $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.65000	$-1.4474 \times 10^{-2}$	$3.6204 \times 10^{-4}$	$2.8814 \times 10^{-5}$
C 線	1.64536	$-1.4691 \times 10^{-2}$	$3.6204 \times 10^{-4}$	$2.8814 \times 10^{-5}$
F 線	1.66083	$-1.3967 \times 10^{-2}$	$3.6204 \times 10^{-4}$	$2.8814 \times 10^{-5}$

$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = -5.0 \times 10^{-3}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.179$   
 $t_0/f = 1.03$ ,  $N_2 \cdot f^4 = 0.056$ ,  $N_0/N_3 = 1.108$

## 【0134】実施例23

$f = 3.94\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 50.5^\circ$

$r_1 = \infty$  (絞り)       $d_1 = 0.1000$   
 $r_2 = 55.2262$        $d_2 = 0.8000$        $n_2 = 1.88300$        $\nu_2 = 40.78$   
 $r_3 = -2.2743$        $d_3 = 0.3000$        $n_3 = 1.48749$        $\nu_3 = 70.21$   
 $r_4 = -27.3072$        $d_4 = 0.4000$   
 $r_5 = -1.6944$        $d_5 = 4.4306$        $n_5$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_6 = -3.0741$        $d_6 = 2.2066$   
 $r_7 = \infty$        $d_7 = 0.7500$        $n_7 = 1.48749$        $\nu_7 = 70.21$   
 $r_8 = \infty$        $d_8 = 1.1900$   
 $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.65000	$-2.0172 \times 10^{-2}$	$6.9356 \times 10^{-4}$	$1.4292 \times 10^{-4}$
C 線	1.64536	$-2.0414 \times 10^{-2}$	$6.9356 \times 10^{-4}$	$1.4292 \times 10^{-4}$
F 線	1.66083	$-1.9607 \times 10^{-2}$	$6.9356 \times 10^{-4}$	$1.4292 \times 10^{-4}$

$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = -4.0 \times 10^{-3}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.313$   
 $t_0/f = 1.12$ ,  $N_2 \cdot f^4 = 0.167$ ,  $N_0/N_3 = 1.266$

## 【0135】実施例24

$f = 3.54\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 58.5^\circ$

$r_1 = \infty$  (絞り)       $d_1 = 0.2500$   
 $r_2 = 21.7410$        $d_2 = 1.1000$        $n_2 = 1.72916$        $\nu_2 = 54.68$   
 $r_3 = -5.6428$        $d_3 = 0.5703$   
 $r_4 = -1.7834$        $d_4 = 4.2486$        $n_4$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_5 = -3.5184$        $d_5 = 0.2000$   
 $r_6 = 5.0043$        $d_6 = 3.0412$        $n_6 = 1.61800$        $\nu_6 = 63.39$   
 $r_7 = 8.7136$        $d_7 = 0.7000$   
 $r_8 = \infty$        $d_8 = 0.7500$        $n_8 = 1.48749$        $\nu_8 = 70.21$   
 $r_9 = \infty$        $d_9 = 1.1899$

 $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.80000	$-1.0965 \times 10^{-2}$	$1.2297 \times 10^{-4}$	$6.2864 \times 10^{-5}$
C 線	1.79538	$-1.1070 \times 10^{-2}$	$1.2297 \times 10^{-4}$	$6.2864 \times 10^{-5}$
F 線	1.81077	$-1.0721 \times 10^{-2}$	$1.2297 \times 10^{-4}$	$6.2864 \times 10^{-5}$

$1/V_0 = 1.92 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = -3.18 \times 10^{-3}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.137$   
 $t_0/f = 1.20$ ,  $N_2 \cdot f^4 = 0.019$

## 【0136】実施例25

$f = 3.58\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 55.5^\circ$

35

36

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.2000$		
$r_2 = \infty$	$d_2 = 0.7500$	$n_1 = 1.81600$	$\nu_1 = 46.62$
$r_3 = -3.9540$	$d_3 = 0.4958$		
$r_4 = -1.8736$	$d_4 = 5.5165$	$n_2$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = -3.6810$	$d_5 = 0.1000$		
$r_6 = 8.7934$	$d_6 = 2.3198$	$n_3 = 1.88300$	$\nu_3 = 40.78$
$r_7 = 5.9738$	$d_7 = 0.7000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_4 = 1.48749$	$\nu_4 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1892$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.80000	$-1.5871 \times 10^{-3}$	$5.5386 \times 10^{-4}$	$6.2203 \times 10^{-5}$
C 線	1.79400	$-1.6027 \times 10^{-3}$	$5.5386 \times 10^{-4}$	$6.2203 \times 10^{-5}$
F 線	1.81400	$-1.5506 \times 10^{-3}$	$5.5386 \times 10^{-4}$	$6.2203 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.5 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -3.28 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.203$				
$t_0/f = 1.54$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.091$ , $N_3/N_2 = 0.964$				

## 【0137】実施例 26

 $f = 3.79\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 53.3^\circ$ 

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.2693$		
$r_2 = -3.5315$	$d_2 = 0.3500$	$n_1 = 1.54814$	$\nu_1 = 45.78$
$r_3 = 2.3618$	$d_3 = 0.8000$	$n_2 = 1.88300$	$\nu_2 = 40.78$
$r_4 = -2.7122$	$d_4 = 0.4000$		
$r_5 = -1.6259$	$d_5 = 5.2179$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)	
$r_6 = -3.6461$	$d_6 = 1.1191$		
$r_7 = \infty$	$d_7 = 0.7500$	$n_4 = 1.48749$	$\nu_4 = 70.21$
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.1901$		
$r_9 = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.65000	$-1.8137 \times 10^{-3}$	$8.6479 \times 10^{-4}$	$6.6686 \times 10^{-5}$
C 線	1.64536	$-1.8273 \times 10^{-3}$	$8.6479 \times 10^{-4}$	$6.6686 \times 10^{-5}$
F 線	1.66083	$-1.7820 \times 10^{-3}$	$8.6479 \times 10^{-4}$	$6.6686 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -2.5 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.261$				
$t_0/f = 1.38$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.178$ , $N_3/N_2 = 1.216$				

## 【0138】実施例 27

 $f = 4.0\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 53.9^\circ$ 

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.2000$		
$r_2 = 3.4310$	$d_2 = 0.7000$	$n_1 = 1.56732$	$\nu_1 = 42.83$
$r_3 = 2.5037$	$d_3 = 1.0000$		
$r_4 = -1.8741$	$d_4 = 0.9000$	$n_2 = 1.83481$	$\nu_2 = 42.72$
$r_5 = -2.5404$	$d_5 = 0.1000$		
$r_6 = 17.9021$	$d_6 = 5.7189$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -5.2222$	$d_7 = 2.5960$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_4 = 1.48749$	$\nu_4 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1878$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.70000	$-1.0383 \times 10^{-3}$	$58.8263 \times 10^{-5}$	$4.7678 \times 10^{-5}$

37

38

C線 1.69562  $-1.0475 \times 10^{-3}$   $6.8263 \times 10^{-5}$   $4.7678 \times 10^{-5}$   
 F線 1.71021  $-1.0170 \times 10^{-3}$   $6.8263 \times 10^{-5}$   $4.7678 \times 10^{-5}$   
 $1/V_0 = 2.08 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = -2.93 \times 10^{-3}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.166$   
 $t_0/f = 1.43$ ,  $N_1 \cdot f^4 = 0.017$

## 【0139】実施例28

$f = 4.02\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 52.9^\circ$   
 $r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 0.2000$   
 $r_2 = 3.0004$   $d_2 = 1.1000$   $n_1 = 1.84666$   $\nu_1 = 23.78$   
 $r_3 = 1.9583$   $d_3 = 0.5500$   
 $r_4 = -11.0859$   $d_4 = 6.0725$   $n_1$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_5 = -4.3117$   $d_5 = 0.2000$   
 $r_6 = 14.8211$   $d_6 = 1.0000$   $n_1 = 1.77250$   $\nu_1 = 49.60$   
 $r_7 = \infty$   $d_7 = 2.1885$   
 $r_8 = \infty$   $d_8 = 0.7500$   $n_1 = 1.48749$   $\nu_1 = 70.21$   
 $r_9 = \infty$   $d_9 = 1.1904$   
 $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.77000	$-9.8448 \times 10^{-3}$	$-5.8562 \times 10^{-5}$	$-1.4079 \times 10^{-5}$
C線	1.76422	$-9.9688 \times 10^{-3}$	$-5.8562 \times 10^{-5}$	$-1.4079 \times 10^{-5}$
F線	1.78347	$-9.5555 \times 10^{-3}$	$-5.8562 \times 10^{-5}$	$-1.4079 \times 10^{-5}$

$1/V_0 = 2.5 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = -4.20 \times 10^{-3}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.159$   
 $t_0/f = 1.51$ ,  $N_1 \cdot f^4 = -0.015$ ,  $N_0/N_1 = 0.960$

## 【0140】実施例29

$f = 3.67\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 57.2^\circ$   
 $r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 1.3500$   
 $r_2 = -1.6203$   $d_2 = 1.0000$   $n_1 = 1.60311$   $\nu_1 = 60.68$   
 $r_3 = -2.5622$   $d_3 = 0.1000$   
 $r_4 = 17.5919$   $d_4 = 5.7571$   $n_1$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_5 = -4.7537$   $d_5 = 0.1000$   
 $r_6 = 11.3407$   $d_6 = 2.0606$   $n_1 = 1.80610$   $\nu_1 = 40.95$   
 $r_7 = 7.3687$   $d_7 = 0.8000$   
 $r_8 = \infty$   $d_8 = 0.7500$   $n_1 = 1.48749$   $\nu_1 = 70.21$   
 $r_9 = \infty$   $d_9 = 1.1887$   
 $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.68000	$-1.0518 \times 10^{-3}$	$2.1212 \times 10^{-4}$	$1.6881 \times 10^{-5}$
C線	1.67490	$-1.0643 \times 10^{-3}$	$2.1212 \times 10^{-4}$	$1.6881 \times 10^{-5}$
F線	1.69190	$-1.0225 \times 10^{-3}$	$2.1212 \times 10^{-4}$	$1.6881 \times 10^{-5}$

$1/V_0 = 2.5 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = -3.98 \times 10^{-3}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.142$   
 $t_0/f = 1.57$ ,  $N_1 \cdot f^4 = 0.038$

## 【0141】実施例30

$f = 4.13\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 52.3^\circ$   
 $r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 1.8438$   
 $r_2 = -2.9770$   $d_2 = 4.4968$   $n_1$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_3 = -3.9560$   $d_3 = 0.1000$   
 $r_4 = 4.1810$   $d_4 = 2.4922$   $n_1 = 1.61800$   $\nu_1 = 63.39$   
 $r_5 = 4.3737$   $d_5 = 0.7000$   
 $r_6 = 7.5621$   $d_6 = 1.0600$   $n_1 = 1.65160$   $\nu_1 = 58.52$

39

40

$r_1 = 9.3836$                        $d_1 = 0.5500$   
 $r_2 = \infty$                        $d_2 = 0.7500$        $n_1 = 1.48749$        $\nu_1 = 70.21$   
 $r_3 = \infty$                        $d_3 = 1.1884$

 $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.60000	$-1.1209 \times 10^{-2}$	$-1.1748 \times 10^{-4}$	$2.4238 \times 10^{-5}$
C 線	1.59538	$-1.1344 \times 10^{-2}$	$-1.1748 \times 10^{-4}$	$2.4238 \times 10^{-5}$
F 線	1.61077	$-1.0895 \times 10^{-2}$	$-1.1748 \times 10^{-4}$	$2.4238 \times 10^{-5}$

$1/V_0 = 2.56 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = -4.0 \times 10^{-2}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.191$   
 $t_0/f = 1.09$ ,  $N_2 \cdot f^4 = -0.034$

## 【0142】実施例31

 $f = 3.87\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 54.5^\circ$ 

$r_1 = \infty$  (絞り)                       $d_1 = 1.0815$   
 $r_2 = -28.3102$                        $d_2 = 5.2277$        $n_1$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_3 = -3.5433$                        $d_3 = 0.0500$   
 $r_4 = -22.6176$                        $d_4 = 0.9500$        $n_2 = 1.88300$        $\nu_2 = 40.78$   
 $r_5 = -4.0675$                        $d_5 = 0.5000$        $n_3 = 1.62588$        $\nu_3 = 35.70$   
 $r_6 = 5.4289$                        $d_6 = 0.5000$   
 $r_7 = \infty$                        $d_7 = 0.7500$        $n_4 = 1.48749$        $\nu_4 = 70.21$   
 $r_8 = \infty$                        $d_8 = 1.1942$   
 $r_9 = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.75000	$-1.6544 \times 10^{-2}$	$1.1161 \times 10^{-3}$	$8.7929 \times 10^{-5}$
C 線	1.74392	$-1.6742 \times 10^{-2}$	$1.1161 \times 10^{-3}$	$8.7929 \times 10^{-5}$
F 線	1.76419	$-1.6081 \times 10^{-2}$	$1.1161 \times 10^{-3}$	$8.7929 \times 10^{-5}$

$1/V_0 = 2.70 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = -4.0 \times 10^{-2}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.248$   
 $t_0/f = 1.35$ ,  $N_2 \cdot f^4 = 0.250$ ,  $N_3/N_2 = 1.158$

## 【0143】実施例32

 $f = 3.88\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 52.8^\circ$ 

$r_1 = \infty$  (絞り)                       $d_1 = 1.3240$   
 $r_2 = -34.3162$                        $d_2 = 5.1194$        $n_1$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_3 = -3.3533$                        $d_3 = 0.0500$   
 $r_4 = -15.7193$                        $d_4 = 0.4000$        $n_2 = 1.53172$        $\nu_2 = 48.91$   
 $r_5 = 3.0343$                        $d_5 = 1.0000$        $n_3 = 1.88300$        $\nu_3 = 40.78$   
 $r_6 = 4.4906$  (非球面)                       $d_6 = 0.5000$   
 $r_7 = \infty$                        $d_7 = 0.7500$        $n_4 = 1.48749$        $\nu_4 = 70.21$   
 $r_8 = \infty$                        $d_8 = 1.1823$   
 $r_9 = \infty$  (像)

非球面係数

$A_1 = 1.0615 \times 10^{-3}$ ,  $A_2 = -4.7062 \times 10^{-3}$ ,  $A_3 = 1.3538 \times 10^{-3}$   
 $A_{10} = -1.7029 \times 10^{-4}$

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.74000	$-1.4577 \times 10^{-2}$	$4.4708 \times 10^{-4}$	$2.1341 \times 10^{-4}$
C 線	1.73366	$-1.4796 \times 10^{-2}$	$4.4708 \times 10^{-4}$	$2.1341 \times 10^{-4}$
F 線	1.75480	$-1.4067 \times 10^{-2}$	$4.4708 \times 10^{-4}$	$2.1341 \times 10^{-4}$

$1/V_0 = 2.86 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = -5.0 \times 10^{-2}$ ,  $N_1 \cdot f^2 = -0.219$   
 $t_0/f = 1.32$ ,  $N_2 \cdot f^4 = 0.10159$ ,  $N_3/N_2 = 1.229$

## 【0144】実施例33

$f = 4.24\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 49.5^\circ$

$r_1 = \infty$  (絞り)

$d_1 = 0.2000$

$r_2 = -6.1182$

$d_2 = 8.0353$

$n_1$  (屈折率分布レンズ)

$r_3 = -3.9652$

$d_3 = 0.1000$

$r_4 = 7.9186$

$d_4 = 1.0000$

$n_2 = 1.84666$

$\nu_2 = 23.78$

$r_5 = 5.6744$

$d_5 = 0.3000$

$r_6 = 6.7751$

$d_6 = 0.9000$

$n_3 = 1.88300$

$\nu_3 = 40.78$

$r_7 = 5.0200$

$d_7 = 0.6000$

$r_8 = \infty$

$d_8 = 0.7500$

$n_4 = 1.48749$

$\nu_4 = 70.21$

$r_9 = \infty$

$d_9 = 1.1827$

$r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.60000	$-1.1573 \times 10^{-2}$	$2.1870 \times 10^{-4}$	$4.1983 \times 10^{-6}$
C線	1.59625	$-1.1560 \times 10^{-2}$	$2.1870 \times 10^{-4}$	$4.1983 \times 10^{-6}$
F線	1.60875	$-1.1605 \times 10^{-2}$	$2.1870 \times 10^{-4}$	$4.1983 \times 10^{-6}$
$1/V_0 = 2.08 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = 0.39 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.208$				
$t_0/f = 1.90$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.071$				

## 【0145】実施例34

$f = 4.41\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 48.3^\circ$

$r_1 = \infty$  (絞り)

$d_1 = 0.1000$

$r_2 = 2.5363$

$d_2 = 0.6000$

$n_1 = 1.88300$

$\nu_1 = 40.78$

$r_3 = 1.7360$

$d_3 = 0.5000$

$r_4 = -9.9470$

$d_4 = 6.2667$

$n_2$  (屈折率分布レンズ)

$r_5 = -3.7009$

$d_5 = 3.8629$

$r_6 = \infty$

$d_6 = 0.7500$

$n_3 = 1.48749$

$\nu_3 = 70.21$

$r_7 = \infty$

$d_7 = 1.1897$

$r_8 = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.65000	$-1.1811 \times 10^{-2}$	$4.3851 \times 10^{-5}$	$5.0237 \times 10^{-7}$
C線	1.64536	$-1.1919 \times 10^{-2}$	$4.3851 \times 10^{-5}$	$5.0237 \times 10^{-7}$
F線	1.66083	$-1.1558 \times 10^{-2}$	$4.3851 \times 10^{-5}$	$5.0237 \times 10^{-7}$
$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-2}$ , $1/V_1 = -3.06 \times 10^{-2}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.230$				
$t_0/f = 1.42$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.017$				

## 【0146】実施例35

$f = 4.11\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 52.1^\circ$

$r_1 = \infty$  (絞り)

$d_1 = 0.0500$

$r_2 = -10.4215$

$d_2 = 0.7000$

$n_1 = 1.71999$

$\nu_1 = 50.25$

$r_3 = -3.8884$

$d_3 = 0.6652$

$r_4 = -2.3624$

$d_4 = 10.2352$

$n_2$  (屈折率分布レンズ)

$r_5 = 17.3389$

$d_5 = 0.5000$

$r_6 = \infty$

$d_6 = 0.7500$

$n_3 = 1.48749$

$\nu_3 = 70.21$

$r_7 = \infty$

$d_7 = 1.1901$

$r_8 = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	1.70000	$-2.1513 \times 10^{-2}$	$1.8930 \times 10^{-4}$	$5.9305 \times 10^{-7}$
C線	1.69500	$-2.1465 \times 10^{-2}$	$1.8930 \times 10^{-4}$	$5.9305 \times 10^{-7}$



43

44

F 線  $1.71167 \quad -2.1625 \times 10^{-2} \quad 1.8930 \times 10^{-4} \quad 5.9305 \times 10^{-7}$   
 $1/V_0 = 2.38 \times 10^{-2}, 1/V_1 = 0.74 \times 10^{-2}, N_1 \cdot f^2 = -0.363$   
 $t_0/f = 2.50, N_2 \cdot f^4 = 0.054$

## 【0147】実施例 36

$f = 4.01\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm,  $2\omega = 53.1^\circ$   
 $r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 0.2500$   
 $r_2 = -5.9959$   $d_2 = 8.4514$   $n_1$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_3 = -4.0188$   $d_3 = 0.1000$   
 $r_4 = -37.6735$   $d_4 = 0.8000$   $n_2 = 1.63980$   $\nu_2 = 34.48$   
 $r_5 = 4.4714$   $d_5 = 0.7000$   
 $r_6 = \infty$   $d_6 = 0.7500$   $n_3 = 1.48749$   $\nu_3 = 70.21$   
 $r_7 = \infty$   $d_7 = 1.1885$   
 $r_8 = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.75000	$-1.8608 \times 10^{-2}$	$5.6704 \times 10^{-4}$	$4.6884 \times 10^{-6}$
C 線	1.74550	$-1.8607 \times 10^{-2}$	$5.6704 \times 10^{-4}$	$4.6884 \times 10^{-6}$
F 線	1.76050	$-1.8611 \times 10^{-2}$	$5.6704 \times 10^{-4}$	$4.6884 \times 10^{-6}$

$1/V_0 = 2.0 \times 10^{-2}, 1/V_1 = 0.002 \times 10^{-2}, N_1 \cdot f^2 = -0.299$   
 $t_0/f = 2.11, N_2 \cdot f^4 = 0.145$

## 【0148】実施例 37

$f = 4.37\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm,  $2\omega = 49.7^\circ$   
 $r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 0.2000$   
 $r_2 = -4.1250$   $d_2 = 4.8867$   $n_1$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_3 = -8.7362$   $d_3 = 0.6500$   
 $r_4 = -5.4661$   $d_4 = 1.0000$   $n_2 = 1.81600$   $\nu_2 = 46.62$   
 $r_5 = -3.5559$   $d_5 = 3.3703$   
 $r_6 = \infty$   $d_6 = 0.7500$   $n_3 = 1.48749$   $\nu_3 = 70.21$   
 $r_7 = \infty$   $d_7 = 1.1884$   
 $r_8 = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.75000	$-1.8462 \times 10^{-2}$	$9.1003 \times 10^{-4}$	$1.5212 \times 10^{-4}$
C 線	1.74550	$-1.8545 \times 10^{-2}$	$9.1003 \times 10^{-4}$	$1.5212 \times 10^{-4}$
F 線	1.76050	$-1.8269 \times 10^{-2}$	$9.1003 \times 10^{-4}$	$1.5212 \times 10^{-4}$

$1/V_0 = 2.0 \times 10^{-2}, 1/V_1 = -1.50 \times 10^{-2}, N_1 \cdot f^2 = -0.353$   
 $t_0/f = 1.12, N_2 \cdot f^4 = 0.332$

## 【0149】実施例 38

$f = 3.48\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm,  $2\omega = 57.7^\circ$   
 $r_1 = \infty$   $d_1 = 0.6000$   $n_1 = 1.88300$   $\nu_1 = 40.78$   
 $r_2 = -7.3094$   $d_2 = 0.0500$   
 $r_3 = \infty$  (絞り)  $d_3 = 1.2030$   
 $r_4 = -1.5102$   $d_4 = 2.6779$   $n_2$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_5 = -2.4601$   $d_5 = 0.0500$   
 $r_6 = 4.3486$   $d_6 = 2.3000$   $n_3 = 1.73400$   $\nu_3 = 51.49$   
 $r_7 = -2.9908$   $d_7 = 0.5000$   $n_4 = 1.78470$   $\nu_4 = 26.22$   
 $r_8 = 7.9176$   $d_8 = 0.4000$   
 $r_9 = \infty$   $d_9 = 0.7500$   $n_5 = 1.48749$   $\nu_5 = 70.21$   
 $r_{10} = \infty$   $d_{10} = 1.1833$   
 $r_{11} = \infty$  (像) 50

## 屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.66000	$-1.7096 \times 10^{-3}$	$5.9455 \times 10^{-5}$	$3.4671 \times 10^{-4}$
C 線	1.65479	$-1.7113 \times 10^{-3}$	$5.9455 \times 10^{-5}$	$3.4671 \times 10^{-4}$
F 線	1.67216	$-1.7056 \times 10^{-3}$	$5.9455 \times 10^{-5}$	$3.4571 \times 10^{-4}$

(フォーカシング)

	物点無限遠	物点 200mm
$d_1$	0.05	0.4068
$1/V_0 = 2.63 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -0.33 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.207$		
$t_0/f = 0.77$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.009$ , $N_0/N_2 = 1.055$ , $\nu_0 = 40.78$		

## 【0150】実施例39

 $f = 3.15\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 62.9^\circ$ 

$r_1 = 9.0969$	$d_1 = 0.7000$	$n_1 = 1.84666$	$\nu_1 = 23.78$
$r_2 = -30.0731$	$d_2 = 1.0005$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 0.5934$		
$r_4 = -1.4531$	$d_4 = 2.4469$	$n_4$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = -2.3769$	$d_5 = 0.0500$		
$r_6 = 3.1021$ (非球面)	$d_6 = 1.5652$	$n_6 = 1.69680$	$\nu_6 = 55.53$
$r_7 = 8.8986$	$d_7 = 0.5000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1901$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

非球面係数

$$A_4 = 1.0406 \times 10^{-3}, A_6 = -1.1767 \times 10^{-3}, A_8 = 1.6092 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -1.2601 \times 10^{-5}$$

## 屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.64000	$-1.7068 \times 10^{-3}$	$-8.2755 \times 10^{-5}$	$-2.6214 \times 10^{-4}$
C 線	1.63543	$-1.7273 \times 10^{-3}$	$-8.2755 \times 10^{-5}$	$-2.6214 \times 10^{-4}$
F 線	1.65067	$-1.6590 \times 10^{-3}$	$-8.2755 \times 10^{-5}$	$-2.6214 \times 10^{-4}$

$$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-3}, 1/V_1 = -4.0 \times 10^{-3}, N_1 \cdot f^2 = -0.169$$

$$t_0/f = 0.78, N_2 \cdot f^4 = -0.008, \nu_0 = 23.78$$

## 【0151】実施例40

 $f = 3.5\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 53.8^\circ$ 

$r_1 = -21.4456$	$d_1 = 0.8000$	$n_1 = 1.84666$	$\nu_1 = 23.78$
$r_2 = -4.9066$	$d_2 = 0.5000$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 0.5199$		
$r_4 = -1.7092$	$d_4 = 5.2494$	$n_4$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = -3.0713$	$d_5 = 0.0500$		
$r_6 = 7.3000$	$d_6 = 2.3809$	$n_6 = 1.88300$	$\nu_6 = 40.78$
$r_7 = 4.9758$	$d_7 = 0.6000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1897$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

## 屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.64000	$-1.8357 \times 10^{-3}$	$5.0858 \times 10^{-4}$	$1.7243 \times 10^{-4}$
C 線	1.63543	$-1.8578 \times 10^{-3}$	$5.0858 \times 10^{-4}$	$1.7243 \times 10^{-4}$
F 線	1.65067	$-1.7843 \times 10^{-3}$	$5.0858 \times 10^{-4}$	$1.7243 \times 10^{-4}$

$$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-3}, 1/V_1 = -4.0 \times 10^{-3}, N_1 \cdot f^2 = -0.225$$

47

48

$$t_e / f = 1.50, N_1 \cdot f^4 = 0.076, N_2 / N_1 = 0.981, \nu_1 = 23.78$$

## 【0152】実施例41

$$f = 3.48\text{mm}, F\text{ナンバー} = 2.8, \text{像高} = 1.85\text{mm}, 2\omega = 59.3^\circ$$

$$r_1 = -5.9937 \quad d_1 = 0.6000 \quad n_1 = 1.84666 \quad \nu_1 = 23.78$$

$$r_2 = -3.4547 \quad d_2 = 0.2000$$

$$r_3 = \infty \text{ (絞り)} \quad d_3 = 0.3000$$

$$r_4 = -2.1601 \quad d_4 = 0.4000 \quad n_4 = 1.45600 \quad \nu_4 = 90.31$$

$$r_5 = 6.4339 \quad d_5 = 0.2000$$

$$r_6 = 5.3428 \quad d_6 = 4.5554 \quad n_6 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_7 = -3.0070 \quad d_7 = 1.7836$$

$$r_8 = \infty \quad d_8 = 0.7500 \quad n_8 = 1.48749 \quad \nu_8 = 70.21$$

$$r_9 = \infty \quad d_9 = 1.1900$$

$$r_{10} = \infty \text{ (像)}$$

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.64000	$-1.1984 \times 10^{-2}$	$8.5081 \times 10^{-4}$	$3.1225 \times 10^{-4}$
C 線	1.63543	$-1.2356 \times 10^{-2}$	$8.5081 \times 10^{-4}$	$3.1225 \times 10^{-4}$
F 線	1.65067	$-1.1117 \times 10^{-2}$	$8.5081 \times 10^{-4}$	$3.1225 \times 10^{-4}$

$$1/V_0 = 2.38 \times 10^{-2}, 1/V_1 = -10.03 \times 10^{-2}, N_1 \cdot f^2 = -0.145$$

$$t_e / f = 1.31, N_2 \cdot f^4 = 0.125, N_2 / N_1 = 1.268, \nu_1 = 23.78$$

## 【0153】実施例42

$$f = 3.2\text{mm}, F\text{ナンバー} = 2.8, \text{像高} = 1.85\text{mm}, 2\omega = 63.8^\circ$$

$$r_1 = 25.4222 \quad d_1 = 0.8000 \quad n_1 = 1.78470 \quad \nu_1 = 26.30$$

$$r_2 = -14.6679 \quad d_2 = 1.4043$$

$$r_3 = \infty \text{ (絞り)} \quad d_3 = 0.3674$$

$$r_4 = -1.9719 \quad d_4 = 3.5687 \quad n_4 = 1.83481 \quad \nu_4 = 42.72$$

$$r_5 = -3.0383 \quad d_5 = 0.1500$$

$$r_6 = 3.6203 \quad d_6 = 2.4626 \quad n_6 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_7 = 4.9906 \quad d_7 = 0.8000$$

$$r_8 = \infty \quad d_8 = 0.7500 \quad n_8 = 1.48749 \quad \nu_8 = 70.21$$

$$r_9 = \infty \quad d_9 = 1.1901$$

$$r_{10} = \infty \text{ (像)}$$

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.58000	$-1.5694 \times 10^{-2}$	$-3.3988 \times 10^{-4}$	$4.2259 \times 10^{-5}$
C 線	1.57665	$-1.5882 \times 10^{-2}$	$-3.3988 \times 10^{-4}$	$4.2259 \times 10^{-5}$
F 線	1.58781	$-1.5257 \times 10^{-2}$	$-3.3988 \times 10^{-4}$	$4.2259 \times 10^{-5}$

$$1/V_0 = 1.92 \times 10^{-2}, 1/V_1 = -3.98 \times 10^{-2}, N_1 \cdot f^2 = -0.161$$

$$t_e / f = 0.77, N_2 \cdot f^4 = -0.036, \nu_1 = 26.3$$

## 【0154】実施例43

$$f = 3.85\text{mm}, F\text{ナンバー} = 2.8, \text{像高} = 1.85\text{mm}, 2\omega = 50.5^\circ$$

$$r_1 = -7.9783 \quad d_1 = 0.8000 \quad n_1 = 1.74100 \quad \nu_1 = 52.65$$

$$r_2 = -3.5855 \quad d_2 = 0.4932$$

$$r_3 = \infty \text{ (絞り)} \quad d_3 = 0.4000$$

$$r_4 = -1.7848 \quad d_4 = 7.7391 \quad n_4 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_5 = -3.9369 \quad d_5 = 3.1567$$

$$r_6 = \infty \quad d_6 = 0.7500 \quad n_6 = 1.48749 \quad \nu_6 = 70.21$$

$$r_7 = \infty \quad d_7 = 1.1906$$

$$r_8 = \infty \text{ (像)}$$

屈折率分布レンズ

49

50

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.60000	$-1.3899 \times 10^{-3}$	$2.1744 \times 10^{-4}$	$3.2896 \times 10^{-5}$
C 線	1.59617	$-1.3959 \times 10^{-3}$	$2.1744 \times 10^{-4}$	$3.2896 \times 10^{-5}$
F 線	1.60894	$-1.3760 \times 10^{-3}$	$2.1744 \times 10^{-4}$	$3.2896 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.13 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -1.43 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.206$				
$t_0/f = 2.01$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.048$ , $\nu_0 = 52.65$				

## 【0155】実施例 4 4

$f = 3.61\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm, $2\omega = 58.0^\circ$				
$r_1 = -3.4861$	$d_1 = 0.8000$	$n_1 = 1.77250$	$\nu_1 = 49.60$	
$r_2 = -3.3510$	$d_2 = 0.1500$			
$r_3 = 58.9888$	$d_3 = 0.7000$	$n_3 = 1.88300$	$\nu_3 = 40.78$	
$r_4 = -9.9727$	$d_4 = 0.4195$			
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.4000$			
$r_6 = -2.0492$	$d_6 = 8.7675$	$n_6$ (屈折率分布レンズ)		
$r_7 = \infty$	$d_7 = 0.7500$	$n_7 = 1.48749$	$\nu_7 = 70.21$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.1918$			
$r_9 = \infty$ (像)				

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	1.60000	$-2.5898 \times 10^{-3}$	$2.4990 \times 10^{-4}$	$1.5312 \times 10^{-5}$
C 線	1.59640	$-2.5862 \times 10^{-3}$	$2.4990 \times 10^{-4}$	$1.5312 \times 10^{-5}$
F 線	1.60840	$-2.5981 \times 10^{-3}$	$2.4990 \times 10^{-4}$	$1.5312 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.0 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = 0.46 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.338$				
$t_0/f = 2.43$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.042$ , $\nu_0 = 40.78$				

## 【0156】実施例 4 5

$f = 3.5\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm, $2\omega = 59.6^\circ$				
$r_1 = 6.4658$	$d_1 = 0.9000$	$n_1 = 1.72916$	$\nu_1 = 54.68$	
$r_2 = 1.9642$	$d_2 = 1.0000$			
$r_3 = \infty$	$d_3 = 1.8004$	$n_3 = 1.52542$	$\nu_3 = 55.78$	
$r_4 = \infty$ (反射面)	$d_4 = 2.4999$	$n_4 = 1.52542$	$\nu_4 = 55.78$	
$r_5 = 3.2080$	$d_5 = 1.2553$			
$r_6 = \infty$ (絞り)	$d_6 = 1.5226$			
$r_7 = \infty$	$d_7 = 10.1277$	$n_7$ (屈折率分布レンズ)		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$	
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1900$			
$r_{10} = \infty$ (像)				

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	1.67000	$-9.1652 \times 10^{-3}$	$6.7452 \times 10^{-5}$
C 線	1.66553	$-9.2010 \times 10^{-3}$	$6.7452 \times 10^{-5}$
F 線	1.68042	$-9.0817 \times 10^{-3}$	$6.7452 \times 10^{-5}$
(フォーカシング)			

物点無限遠

物点 100mm

$d_1$	1.0	1.1694
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -1.30 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.112$		
$t_0/f = 2.89$ , $N_2 \cdot f^4 = 0.010$ , $\nu_0/\nu_1 = 1.02$		
$N_2/N_1 = 0.882$ , $\nu_0 = 55.78$		

## 【0157】実施例 4 6

$f = 3.0\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm, $2\omega = 64.2^\circ$				
$r_1 = 15.6924$	$d_1 = 0.7600$	$n_1 = 1.77250$	$\nu_1 = 49.60$	

51

52

$r_1 = 2.6149$ (非球面)	$d_1 = 2.8443$		
$r_2 = \infty$ (反射面)	$d_2 = 2.5448$		
$r_3 = -8.8540$	$d_3 = 0.8000$	$n_3 = 1.84666$	$\nu_3 = 23.78$
$r_4 = 84.7224$	$d_4 = 0.8027$		
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 1.0477$		
$r_6 = -15.7620$	$d_6 = 16.8990$	$n_6$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -141.4639$	$d_7 = 1.0000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.1900$		
$r_{11} = \infty$ (像)			

非球面係数

$$A_4 = -6.6412 \times 10^{-3}, A_6 = 4.1496 \times 10^{-4}, A_8 = -2.0583 \times 10^{-4}$$

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d線	1.70000	$-6.4846 \times 10^{-3}$	$6.6853 \times 10^{-5}$
C線	1.69400	$-6.5041 \times 10^{-3}$	$6.6853 \times 10^{-5}$
F線	1.71400	$-6.4392 \times 10^{-3}$	$6.6853 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.86 \times 10^{-3}, 1/V_1 = -0.02 \times 10^{-3}, N_1 \cdot f^2 = -0.058$			
$t_0/f = 5.63, N_2 \cdot f^4 = 0.005, \nu_0/\nu_1 = 0.45$			
$N_0/N_1 = 1.042, \nu_0 = 23.78$			

## 【0158】実施例47

 $f = 5.18\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 44.4^\circ$ 

$r_1 = -6.0804$	$d_1 = 2.5000$	$n_1 = 1.52542$	$\nu_1 = 55.78$
$r_2 = \infty$ (反射面)	$d_2 = 2.5000$	$n_2 = 1.52542$	$\nu_2 = 55.78$
$r_3 = -5.9753$	$d_3 = 1.2000$		
$r_4 = \infty$ (絞り)	$d_4 = 1.0000$		
$r_5 = \infty$	$d_5 = 18.3846$	$n_5$ (屈折率分布レンズ)	
$r_6 = \infty$	$d_6 = 4.0000$		
$r_7 = \infty$ (反射面)	$d_7 = 3.5000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_8 = 1.48749$	$\nu_8 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1489$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d線	1.60000	$-5.0000 \times 10^{-3}$	$1.2259 \times 10^{-6}$
C線	1.59710	$-4.9964 \times 10^{-3}$	$1.2259 \times 10^{-6}$
F線	1.60677	$-5.0083 \times 10^{-3}$	$1.2259 \times 10^{-6}$
$1/V_0 = 1.61 \times 10^{-3}, 1/V_1 = 0.24 \times 10^{-3}, N_1 \cdot f^2 = -0.134$			
$t_0/f = 3.55, N_2 \cdot f^4 = 0.0009$			

## 【0159】実施例48

 $f = 5.0\text{mm}$ , Fナンバー=2.8, 像高=1.85mm,  $2\omega = 42.6^\circ$ 

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.5000$		
$r_2 = 33.5152$	$d_2 = 3.2126$	$n_2 = 1.74100$	$\nu_2 = 52.65$
$r_3 = \infty$ (反射面)	$d_3 = 3.5126$	$n_3 = 1.74100$	$\nu_3 = 52.65$
$r_4 = 9.2424$	$d_4 = 0.4000$		
$r_5 = \infty$	$d_5 = 5.1185$	$n_5$ (屈折率分布レンズ)	
$r_6 = \infty$	$d_6 = 0.3287$		
$r_7 = \infty$	$d_7 = 0.7500$	$n_7 = 1.48749$	$\nu_7 = 70.21$
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.1931$		
$r_9 = \infty$ (像)			

## 屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	1.67000	$-1.5280 \times 10^{-3}$	$2.8237 \times 10^{-5}$
C 線	1.66553	$-1.5346 \times 10^{-3}$	$2.8237 \times 10^{-5}$
F 線	1.68042	$-1.5126 \times 10^{-3}$	$2.8237 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -1.44 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.382$			
$t_0/f = 1.02$ , $N_2 \cdot f^2 = 0.018$			

## 【0160】実施例 4 9

$f = 3.25\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm,  $2\omega = 62.8^\circ$

前群が反射面のみの場合

$f = 6.31\text{mm}$ , F ナンバー = 2.8, 像高 = 1.85mm,  $2\omega = 34^\circ$

$r_1 = 6.9669$	$d_1 = 1.0000$	$n_1 = 1.69680$	$\nu_1 = 55.53$
$r_2 = 2.4193$ (非球面)	$d_2 = 1.2000$		
$r_3 = -67.8885$	$d_3 = 2.8884$	$n_2 = 1.52542$	$\nu_2 = 55.78$
$r_4 = \infty$ (反射面)	$d_4 = 3.8741$	$n_3 = 1.52542$	$\nu_3 = 55.78$
$r_5 = 5.6750$ (非球面)	$d_5 = 1.9707$		
$r_6 = \infty$ (絞り)	$d_6 = 1.3980$		
$r_7 = \infty$	$d_7 = 13.1793$	$n_4$ (屈折率分布レンズ)	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_5 = 1.48749$	$\nu_5 = 70.21$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.1887$		
$r_{10} = \infty$ (像)			

非球面係数

(第 2 面)

$A_1 = -3.3290 \times 10^{-3}$ ,  $A_2 = 8.0505 \times 10^{-4}$ ,  $A_3 = -2.8153 \times 10^{-4}$

(第 5 面)

$A_4 = -2.6838 \times 10^{-4}$ ,  $A_5 = 3.7978 \times 10^{-4}$ ,  $A_6 = 0$

屈折率分布レンズ

	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	1.67000	$-8.1099 \times 10^{-3}$	$1.0747 \times 10^{-5}$
C 線	1.66553	$-8.1110 \times 10^{-3}$	$1.0747 \times 10^{-5}$
F 線	1.68042	$-8.1073 \times 10^{-3}$	$1.0747 \times 10^{-5}$
$1/V_0 = 2.22 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = -0.05 \times 10^{-3}$ , $N_1 \cdot f^2 = -0.086$			
$t_0/f = 4.06$ , $N_2 \cdot f^2 = 0.012$ , $\nu_0/\nu_1 = 1.00$			
$N_0/N_1 = 0.899$ , $\nu_0 = 55.78$			

ただし  $r_1, r_2, \dots$  はレンズ各面の曲率半径、 $d_1, d_2, \dots$  は各レンズの肉厚およびレンズ間隔、 $n_1, n_2, \dots$  は各レンズの d 線の屈折率、 $\nu_1, \nu_2, \dots$  は各レンズのアッペ数である。

【0161】実施例 1 乃至実施例 17 は本発明の第 1 の構成のレンズ系で、以下詳しく述べる通りのレンズ系である。

【0162】実施例 1 は、図 1 に示すレンズ構成で、物体側より順に、正レンズ、負レンズ、正レンズ、正レンズよりなる。つまり、物体側より順に凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズとよりなる前群と、絞り S と凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと平凸形状の正レンズからなる後群とで構成されている。そして、後群の像側の平凸レンズがラジアル型屈折率分布レンズであるレトロフォーカスタイプのレンズ系である。また

図 1 に示す光線 LA は軸上光線、光線 LB は軸外光線、平板 C は CCD や CDM 等の撮像素子の保護ガラスであり、S は明るさ絞り、SF はフレア絞りである。

【0163】この実施例 1 は、前群に負レンズと正レンズを 1 枚ずつ用い、後群にはラジアル型屈折率分布レンズを用いて、少ないレンズ枚数にも拘らず特に、倍率の色収差が良好に補正されている。また最も像側面を凸面形状として比較的容易に軸外光線を像面へほぼテレセントリック入射させることを可能にした。

【0164】また、実施例 1 は、軸外光線高の高い最も物体側のレンズを正レンズにしたことにより、つまり前群を物体側より順に、正レンズと負レンズにて構成することにより、レンズ系全系の非対称性を緩和して少ないレンズ枚数にて倍率の色収差および歪曲収差を良好に補正している。また、後群を正レンズの 2 枚で構成して正の屈折力を二つに分けて諸収差の発生量を少なくした。

また、後群の軸外光線高が高くなる像側のレンズをラジアル型屈折率分布レンズにして軸外収差をより良好に補正している。また軸外のフレアー成分をカットするためのフレアー絞り S<sub>r</sub> が明るさ絞り S の物体側に設けられている。

【0165】この実施例1は、ラジアル型屈折率分布レンズの片側の面を平面とし研磨を容易にしてコストを削減した例である。また、レトロフォーカスタイプのレンズ系は、レンズ系全系の正レンズで発生する軸上色収差および球面収差を前群の凹レンズで補正している。

【0166】実施例1の無限遠物点の収差状況は、図53に示す通りであり、レンズ枚数が4枚と少ないにも拘らず諸収差が良好に補正されている。

【0167】実施例2は図2に示す構成で、物体側より順に、正レンズ、負レンズ、正レンズ、正レンズ、つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズからなる前群と、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと両凸の正レンズからなる後群とで構成され、後群の物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、明るさ絞り S は、ラジアル型屈折率分布レンズ中の物体側の面から 0.3648mm の位置に設けられている。また、軸外のフレアー成分をカットするためのフレアー絞り S<sub>r</sub> が、ラジアル型屈折率分布レンズ中の物体側の面から 0.9648mm の位置に設けられている。

【0168】実施例2においては、ラジアル型屈折率分布レンズの径を小さくして作製コストを安価にするために後群の物体側に配置している。屈折率分布レンズの径が小さくなれば屈折率分布を付与する時間を短く出来、作製コストを安価にできる。また、明るさ絞りをラジアル型屈折率分布レンズ中に配置して、このレンズを通過する軸外光線の光線高を低くしてこのレンズの径を小さくすることを可能にした。又、最も像側のレンズを両凸形状にしてその両面に正の屈折力を分けて、特に軸外収差を良好に補正している。

【0169】この実施例のように、物体側より順に、正レンズと負レンズの前群で構成したレトロフォーカスタイプのレンズ系は、特に広角化に適している。

【0170】また、実施例2のレンズ系は、第1レンズを物体側に繰り出すことにより至近距離物体へのフォーカシングを行なっている。ただし、レンズ系全体を物体側に繰り出すいわゆる全体繰り出しにより至近距離物体へのフォーカシングを行なうこともできる。

【0171】実施例2の無限遠物点および50mmの物点の収差状況は、夫々図54、図55に示す通りである。この収差図から、レンズ枚数が4枚と少ないにも拘らず諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0172】実施例3は、図3に示すように、物体側より順に正レンズ、負レンズ、正レンズ、つまり物体側よ

り順に、両凸レンズの正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズの前群と絞り S と平凸の正レンズからなる後群とにて構成され、後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。又平行平板 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> は特定の波長成分をカットする2種類のフィルターである。これら平行平板のうち、F<sub>1</sub> は赤外カットフィルター、F<sub>2</sub> はローパスフィルターである。

【0173】実施例3のレンズ系は前群を物体側より順に正レンズと負レンズにて構成したことにより倍率の色収差および歪曲収差を良好に補正することを可能にした。また、後群は、ラジアル型屈折率分布レンズ1枚にて構成したが、条件(1)、(2)を満足するようにして、特に倍率の色収差およびペッツバル和を良好に補正した。

【0174】また、軸外光線を像面へほぼテレセントリック入射させるために、後群の正レンズの像側の面を凸面形状にした。そのため、この面でのコマ収差の発生量が大きくなる傾向になるがこのレンズをラジアル型屈折率分布レンズにして更に条件(2)を満足することによりコマ収差を良好に補正している。

【0175】また、ラジアル型屈折率分布レンズの片側の面を平面にしたことにより研磨に要するコストを削減した。

【0176】実施例3の無限遠物点の収差状況は、図56に示す通りで、3枚の少ないレンズ枚数で諸収差が良好に補正されている。

【0177】実施例4は、図4に示す通りで、物体側より順に、正レンズ、負レンズ、正レンズよりなり、実施例3とほぼ同じ構成である。つまり、物体側より順に凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側へに向けたメニスカス形状の負レンズの前群と、絞り S と、平凸の正レンズとよりなる後群とにて構成されている。そして後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、平行平板 F<sub>1</sub> は特定の波長成分をカットするフィルターである。

【0178】実施例4は、少なくとも1枚のレンズに特定の波長成分をカットするためのフィルター機能を持たせ、実施例3と比べてフィルター1枚減らした例である。例えばラジアル型屈折率分布レンズに赤外波長成分をカットする機能を持たせることにより、実施例3と比較して赤外カットフィルターを省きコストを削減し又全長を短くした例である。

【0179】実施例4の収差状況は、図57に示す通りである。

【0180】実施例5は、図5に示す構成で、物体側より順に、正レンズ、負レンズ、正レンズよりなる実施例3とほぼ同様の構成である。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズの前群と、明るさ絞り S と、平凸正レンズからなる後群とで構成され、

後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0181】この実施例5は、少なくとも1枚のレンズに特定の波長成分をカットするためのフィルター機能を持たせることによって、実施例3と比較してフィルターを2枚減らし小型化およびコストの削減を達成した例である。

【0182】実施例5は、絞りよりも物体側の前群を物体側に繰り出すことにより至近距離物体へのフォーカシングを行なっている。

【0183】この実施例5の無限遠物点、50mmの物点の収差状況は、夫々図58、図59に示す通りである。

【0184】実施例6は、図6に示す通りで、物体側より順に、正レンズと負レンズと正レンズとよりなる。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズとよりなる前群と、平凸レンズからなる後群とで構成され、後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、明るさ絞りSはラジアル型屈折率分布レンズの物体側の面から2.1619mmの位置に設けられている。

【0185】実施例6は、明るさ絞りをラジアル型屈折率分布レンズ内部に設けたことにより、ラジアル型屈折率分布レンズの径を小にし、作製コストを下げた。また、ラジアル型屈折率分布レンズ内部に明るさ絞りを設けることは、レンズ系の非対称性を緩和する効果があり、軸外収差を補正する上で効果的である。例えば、実施例6の様に、明るさ絞りをレンズ内部に設ける場合、図6の(B)に拡大して示すように、レンズ外周部から光軸に向かって切り込みを入れることにより、実際に製作することが出来る。更に、切り込み部分で光線を遮断できるように黒色塗料をこの切り込み部分に塗るか、あるいは切り込み面を梨地状にすることが望ましい。また、明るさ絞りをレンズ内部に設ける他の方法として、レンズを二つに切断してその断面に絞りを設けてから再び切断面を接着または密着させることにより製作することもできる。この方法は、レンズ中にフレア絞りを設ける場合にも適用できる。

【0186】また、ラジアル型屈折率分布レンズを例えばゾルゲル法で作製する場合、作製過程で絞りを設けることも出来る。

【0187】実施例6の収差状況は、図60に示す通りである。

【0188】実施例7は、図7に示す通りで、物体側から順に正レンズ、負レンズ、正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、凸平形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズよりなる前群と、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズからなる後群とより構成され、後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。この実施例7は、ラジアル型屈折率分布レンズの光軸と周辺との屈折率差を大にし

てレンズ厚を薄くして小型化を図った例である。またラジアル型屈折率分布レンズの物体側の面に明るさ絞りを設けられている。この実施例のようにレンズ面に絞りを設けるためには、例えば、図7の(B)に示すように薄板Dをレンズ面に接着あるいは密着させて形成する。またレンズ面に絞りを設ける方法として、レンズ面を梨地状にするかあるいは黒色塗料を塗布することによって作製し得る。

【0189】実施例7の無限物点の収差状況は、図61に示す通りである。

【0190】実施例8は、図8に示す通り、物体側より順に正レンズ、負レンズ、正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズとの前群と、明るさ絞りSと、平凸レンズの正レンズからなる後群とにて構成され、後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0191】また、この実施例8は第1レンズに非球面を用いて特に歪曲収差を良好に補正している。この非球面等本発明で用いる非球面の形状は、下記の式にて表わされる。

$$z = \frac{y^2/r}{1 + \sqrt{1 - (y/r)^2}} + \sum_{i=1}^n A_i y^i$$

【0192】上記式は、z軸をx軸方向にとり、y軸を光軸と直角方向にとったもので、rは光軸上の曲率半径、 $A_i$ は非球面係数である。

【0193】この実施例8の無限遠物点の収差状況は、図62に示す通りである。

【0194】実施例9は、図9に示す通りの構成のレンズ系で、物体側より順に、正レンズ、負レンズ、正レンズで構成される。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズと、凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズとの前群と、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズからなる後群とにより構成されていて、後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、明るさ絞りSは、ラジアル型屈折率分布レンズの物体側の面から像側へ1.2232mmの位置に設けられている。

【0195】また、ラジアル型屈折率分布レンズの像側の面を光軸から半径方向に行くにしたがって正の屈折力が弱くなる形状の非球面にし、これによって特にこの面で発生するコマ収差および歪曲収差を良好に補正した例である。

【0196】またこの実施例9では、非球面形状の透明体Tをラジアル型屈折率分布レンズに接着あるいは密着させて前述の非球面効果を得るようにしている。この透明体Tは、樹脂、プラスチック、ガラス、結晶又は液体等で作製されたものである。またラジアル型屈折率分布レンズの面形状を直接非球面としてもほぼ同様の効果が



得られる。

【0197】本発明のレンズ系に非球面を適用して特にコマ収差あるいは歪曲収差を補正する場合、絞りよりも物体側のレンズに適用する場合、光軸から周辺に行くにしたがって負の屈折力が弱くなるような形状が望ましい。また絞りよりも像側に適用する場合、光軸から周辺に行くにしたがって正の屈折力が弱くなるような形状が望ましい。

【0198】この実施例9のレンズ系は、全系を物体側に繰り出すことにより至近距離物へのフォーカシングを行っている。

【0199】この実施例9の無限遠物点、50mmの物点の収差状況は、図63、図64に示す通りである。

【0200】実施例10は、図10に示す通り、物体側より順に、負レンズ、正レンズ、正レンズ、正レンズにて構成されている。つまり、物体側より順に両凹の負レンズと両凸の正レンズとよりなる前群と、明るさ絞りSと、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと、凸平の正レンズからなる後群で構成され、後群の物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0201】実施例10は、前群に1枚の負レンズと1枚の正レンズを用い又後群にはラジアル型屈折率分布レンズを用いて、少ない枚数であるにも拘らず特に倍率の色収差を良好に補正するようにした。また前群を、物体側より順に負レンズと正レンズにて構成することにより広角化に有利な構成にした。また軸外光線L<sub>1</sub>の光線高の高い第1レンズを負レンズにしたことにより倍率の色収差の補正の比較的困難な構成であるが、ラジアル型屈折率分布レンズが条件(1)を満足することにより倍率の色収差を良好に補正している。

【0202】また後群のラジアル型屈折率分布レンズの像側の面を凸面にして比較的容易に軸外光線を像面へほぼテレセントリックに入射させることを可能にした。これに加えてこのラジアル型屈折率分布レンズが条件

(2)を満足することによりコマ収差および歪曲収差を良好に補正している。つまり、条件(2)を満足すれば凸面の屈折率が光軸から周辺に行くにしたがって小さくなるため、この面で発生するコマ収差および歪曲収差を良好に補正することが可能である。また実施例10は、最も像側のレンズの像側の面が平面であり、この面に保護ガラスCを接着することが可能である。また最も像側のレンズを保護ガラスとして保護ガラスCを省略することも可能である。

【0203】また実施例10は、最も物体側の負レンズを物体側に繰り出すことにより至近距離物体にフォーカシングを行なう。

【0204】この実施例10の無限遠物点、50mmの物点の収差状況は、図65、図66に示す通りである。この収差図からわかるように、レンズ枚数が4枚と少ないにも拘らず諸収差が良好に補正されている。

【0205】実施例11は、図11に示す構成で、物体側より順に負レンズ、正レンズ、正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、両凹の負レンズと両凸の正レンズとからなる前群と、明るさ絞りSと、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズ1枚からなる後群とよりなり、後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0206】実施例11は、前群を物体側より順に、負レンズと正レンズとにて構成したことにより広角化に有利な構成である。また、後群に条件(1)、条件(2)を満足するラジアル型屈折率分布レンズを用いてレンズ枚数が3枚であるにも拘らず、諸収差が良好に補正されている。

【0207】また、前群に少なくとも1枚の負レンズを用い、後群が正の屈折力を持ついわゆるレトロフォーカスタイプのレンズ系で小型化を達成するためには、次の条件(18)を満足することが望ましい。

【0208】(18)  $1 < t_e / f < 6$

もし、条件(18)の下限値1を超えると媒質の屈折力が弱くなり、倍率の色収差が補正不足になるため好ましくない。また、上限値の6を超えるとレンズが厚くなり、レンズ系の全長が長くなるため好ましくない。

【0209】実施例11の無限遠物点の収差状況は、図67に示す通りでレンズ枚数が3枚と少ないにも拘らず収差が良好に補正されている。

【0210】実施例12は、図12に示すように、物体側より順に、負レンズと負レンズと正レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズからなる前群と、明るさ絞りSと、両凸形状の正レンズの後群とからなり、後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0211】この実施例12は、前群を2枚の負レンズにて構成したことにより両レンズに負の屈折力を分配して画角が広いにも拘わらず軸外収差を良好に補正している。

【0212】この実施例12の無限遠物点の収差状況は、図68に示す通りである。

【0213】実施例13は、図13に示す通り、物体側より順に負レンズ、正レンズ、正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズの前群と、明るさ絞りSと、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズよりなる後群とにて構成され、後群の物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また第1レンズの像側の面が光軸から半径方向に行くにしたがい負の屈折力が弱くなる非球面であり、この非球面により歪曲収差を補正している。

【0214】この実施例13は、前群が負レンズ1枚で

あるが、後群にラジアル型屈折率分布レンズを用いて諸収差を良好に補正している。

【0215】実施例13の無限遠物点の収差状況は、図69に示す通りである。

【0216】実施例14は、図14に示す通り、物体側より順に負レンズと正レンズと負レンズとにて構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズの前群と、明るさ絞りSと、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズの後群とからなり、後群の物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0217】この実施例14は、最も像側のレンズを負レンズにしてレンズ系全系の非対称性を緩和して軸外収差を良好に補正している。

【0218】実施例14の無限遠物点の収差状況は、図70に示す通りである。

【0219】実施例15は、図15に示すもので、物体側より順に、負レンズと負レンズと正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズの前群と明るさ絞りSと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズの後群とよりなり、後群の像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。この実施例15は、後群中に負レンズを用いてレンズ系全系の非対称性を緩和して軸外収差を良好に補正している。また、ラジアル型屈折率分布レンズを最も像側に配置して倍率の色収差、歪曲収差を良好に補正した。

【0220】この実施例15の無限遠物点の収差状況は、図71に示す通りである。

【0221】実施例16は図16に示すもので、物体側より順に、負レンズと正レンズと正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズの前群と明るさ絞りSと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズの後群とから構成され、後群の像側にレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。実施例16は後群を正レンズ2枚で構成して屈折力を分散し諸収差を良好に補正している。

【0222】実施例16の無限遠物点の収差状況は、図72に示す通りである。

【0223】実施例17は図17に示す通り、物体側より順に、負レンズと正レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズの前群と明るさ絞りSと平凸形状の正レンズの後群とからなり、後群のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0224】この実施例17はレンズ枚数が2枚と少ないにも拘わらず、後群にラジアル型屈折率分布レンズを用いて諸収差を良好に補正した安価なレンズ系を達成し

た。

【0225】実施例17の無限遠物点の収差状況は、図73に示す通りである。

【0226】実施例18乃至実施例37は、いずれも絞りをレンズ系の物体側に設けた本発明の第2の構成のレンズ系で、これら実施例の詳しい内容は、次に述べる通りである。

【0227】実施例18は図18に示すもので、物体側より順に、正レンズと負レンズと正レンズと正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りSと凹面を物体側に向けた正レンズ、両凹形状の負レンズと両凸形状の正レンズからなる接合レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズからなり、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0228】実施例18は明るさ絞りを物体側に配置して軸外光線の像面への略テレセントリック入射を容易にした例である。また、条件(1)を満足するラジアル型屈折率分布レンズを用いたことにより倍率の色収差を良好に補正している。また、特にベッツバール和を良好に補正するためにラジアル型屈折率分布レンズが条件

(2)を満足するようにしている。また、接合レンズの両レンズが条件(14)を満足し、これによりベッツバール和をより良好に補正している。また、ラジアル型屈折率分布レンズをメニスカス形状とし面のパワーを弱くしたことで特にベッツバール和を良好に補正している。また、このラジアル型屈折率分布レンズが凹面を絞り側に向けたメニスカス形状にして軸外収差を良好に補正することを可能としている。

【0229】実施例18の無限遠物点の収差状況は、図74に示す通りである。

【0230】実施例19は図19に示すものであり、物体側より順に、正レンズと正レンズと負レンズと正レンズで構成されたレンズ系である。つまり、物体側より順に、明るさ絞りSと両凸の正レンズ、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズとよりなる接合レンズにて構成され、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、第1レンズの物体側の面は非球面である。実施例19では軸外光線高の高い最も像側に接合レンズを配置することにより特に倍率の色収差を良好に補正している。

【0231】実施例19の無限遠物点の収差状況は、図75に示す通りである。

【0232】実施例20は図20に示す通りであり、物体側より順に、正レンズ、正レンズ、正レンズ、負レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りSと両凸の正レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズおよび両凸形状の正レンズと両凹形状の負レンズとを接合した接合レンズからなり、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0233】また、負レンズを最も像側に配置して倍率の色収差をより良好に補正した例である。

【0234】また、実施例20はレンズ全系を物体側に繰り出すことにより至近距離物体へのフォーカシングを行なっている。

【0235】実施例20の無限遠物点、50mmの物点の収差状況は、夫々図76、図77に示す通りである。

【0236】実施例21は図21に示す通りであり、物体側より順に、正レンズと正レンズと正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと両凸の正レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズにて構成したレンズ系で最も像側の正レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0237】実施例21の無限遠物点の収差状況は、図78に示す通りである。

【0238】実施例22は図22に示す構成のものであり、物体側より順に正レンズ、負レンズ、正レンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の負レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズとにて構成され、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0239】実施例22の無限遠物点の収差状況は、図79に示すものである。

【0240】実施例23は図23に示す通りであり、物体側より順に正レンズ、負レンズ、正レンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと両凸の正レンズと凹面の物体側に向けたメニスカス形状の負レンズとを接合した接合レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズとにて構成し、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、接合レンズにて主にベッツパール和を良好に補正している。

【0241】実施例23の無限遠物点の収差状況は、図80に示す通りである。

【0242】実施例24は図24に示す通りであり、物体側より順に、正レンズ、正レンズ、正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと両凸の正レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズにて構成し第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0243】実施例24の無限遠物点の収差状況は、図81に示す通りである。

【0244】実施例25は図25に示す通りであり、物体側より順に、正レンズ、正レンズ、負レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと平凸の正レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズ

からなり、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0245】実施例25の無限遠物点の収差状況は、図82に示す通りである。

【0246】実施例26は図26に示す通りで、物体側より順に、負レンズ、正レンズ、正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと両凹の負レンズと両凸の正レンズとよりなる接合レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズにて構成され、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。この実施例26は条件(1)および条件(2)を満足することによりレンズ枚数が3枚と少ないにも拘わらず諸収差を良好に補正した例である。また、接合レンズにて主としてベッツパール和を良好に補正している。

【0247】実施例26の無限遠物点の収差状況は、図83に示す通りである。

【0248】実施例27は図27に示す通りで、物体側より順に、負レンズと負レンズと正レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の負レンズと両凸形状の正レンズとにて構成されたレンズ系で、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0249】実施例27の無限遠物点の収差状況は、図84に示す通りである。

【0250】実施例28は図28に示す通りであり、物体側より順に、負レンズと正レンズと正レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凸平形状の正レンズからなり、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0251】実施例28の無限遠物点の収差状況は、図85に示す通りである。

【0252】実施例29は図29に示す通りであり、物体側より順に、負レンズと正レンズと負レンズとより構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の負レンズと両凸形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズからなり、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0253】実施例29の無限遠物点の収差状況は、図86に示す通りである。

【0254】実施例30は図30に示す通りであり、物体側より順に、正レンズと正レンズと正レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズにて構成され、最も物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0255】実施例30の無限遠物点の収差状況は、図87に示す通りである。

【0256】実施例31は図31に示すものであり、物体側より順に、正レンズ、正レンズ、負レンズで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと両凹の負レンズからなる接合レンズで構成され最も物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、接合レンズでは主にペッツバル和を良好に補正している。

【0257】実施例31の無限遠物点の収差状況は、図88に示すものである。

【0258】実施例32は図32に示すものであり、物体側より順に、正レンズと負レンズと正レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと、両凹形状の負レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズとを接合した接合レンズで構成され、最も物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、最も像側のレンズの像側の面が非球面形状となっている。また、接合レンズは主としてペッツバル和を良好に補正するためのものである。

【0259】実施例32の無限遠物点の収差状況は、図89に示すものである。

【0260】実施例33は図33に示すものであり、物体側より順に、正レンズと負レンズと負レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズからなる接合レンズで構成され最も物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0261】実施例33の無限遠物点の収差状況は、図90に示すものである。

【0262】実施例34は図34に示すものであり、物体側より順に、負レンズと正レンズとにて構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズで構成され最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。実施例34は、条件(1)、条件(2)を満足するラジアル型屈折率分布レンズを用いて、レンズ枚数が2枚と少ないにも拘わらず諸収差を良好に補正している。

【0263】実施例34の無限遠物点の収差状況は、図91に示すものである。

【0264】実施例35は図35に示すものであり、物体側より順に、正レンズと正レンズとにて構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと両凹形状の正レンズで構成され最も像側のレンズがラジアル型屈折率分

布レンズである。この実施例35は、ラジアル型屈折率分布レンズの面形状が負レンズの形状となっており、これにより主にペッツバル和を良好に補正している。

【0265】実施例35の無限遠物点の収差状況は、図92に示すものである。

【0266】実施例36は図36に示すものであり、物体側より順に、正レンズと負レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと両凹形状の負レンズで構成され最も物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0267】実施例36の無限遠物点の収差状況は、図93に示すものである。

【0268】実施例37は図37に示すものであり、物体側より順に、正レンズと正レンズとにて構成されている。つまり、物体側より順に、明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズで構成されたレンズ系で、最も物体側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0269】実施例37の無限遠物点の収差状況は、図94に示すものである。

【0270】実施例38乃至実施例44は、いずれも本発明の第3の構成のレンズ系で、夫々次に述べるような構成である。

【0271】実施例38は図38に示す構成のものであり、物体側より順に、正レンズ、正レンズ、正レンズ、負レンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、平凸形状の正レンズと明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズおよび両凸形状の正レンズと両凹形状の負レンズとよりなる接合レンズとにて構成され、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。実施例38は前群を正レンズ1枚で構成したことによって、特に倍率の色収差および歪曲収差等の軸外収差を良好に補正している。また、前群の正レンズが条件(16)を満足することにより倍率の色収差を良好に補正している。また、接合レンズは主にレンズ全系の倍率の色収差を良好に補正するものである。

【0272】また、第1レンズを物体側に繰り出すことにより至近距離物体へのフォーカシングを行なっている。

【0273】実施例38の無限遠物点、200mmの物点の収差状況は、夫々図95、図96に示す通りである。

【0274】実施例39は図39に示すものであり、物体側より順に、正レンズと正レンズと正レンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、両凸形状の正レンズと明るさ絞りと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けた正レンズとより構成され、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、第3レンズの物体側の面に非球面が用いられ

ている。

【0275】また、本発明のレンズ系において、この実施例のように前群が正レンズ1枚で構成される場合あるいは明るさ絞りが最も物体側にある場合には、より小型のレンズ系を達成するにはラジアル型屈折率分布レンズが下記の条件(19)を満足することが望ましい。

【0276】(19)  $0.5 < t_0 / f < 4$

もし、条件(19)の下限値の0.5を超えると、屈折率分布レンズの媒質の屈折力が弱くなり倍率の色収差が補正不足となるため好ましくない。また、上限値の4を超えるとレンズが厚くなりレンズ全長が長くなるため好ましくない。

【0277】実施例39の無限遠物点の収差状況は、図97に示す通りである。

【0278】実施例40は図40に示すものであり、物体側より順に、正レンズと正レンズと負レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと明るさ絞りSと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと凹面を像側に向けたメニスカス形状の負レンズよりなり、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0279】実施例40の無限遠物点の収差状況は、図98に示す通りである。

【0280】実施例41は図41に示すものであり、物体側より順に、正レンズと負レンズと正レンズとにより構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと明るさ絞りSと両凹形状の負レンズ両凸形状の正レンズとにて構成され、最も像側のがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0281】この実施例ではラジアル型屈折率分布レンズを両凸形状としたことによって、光軸と周辺での屈折率差を小さくしラジアル型屈折率分布レンズ素材の作製を容易とした例である。

【0282】実施例41の無限遠物点の収差状況は、図99に示す通りである。

【0283】実施例42は図42に示すものであり、物体側より順に正レンズと正レンズと正レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、両凸形状の正レンズと明るさ絞りSと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと、凹面を物体側に向けた正レンズよりなり、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0284】実施例42の無限遠物点の収差状況は、図100に示す通りである。

【0285】実施例43は図43に示すものであり、物体側より順に正レンズと正レンズとにて構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと明るさ絞りSと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズとにて構成され、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

この実施例43では、条件(1)、条件(2)を満足するラジアル型屈折率分布レンズを用いてレンズ枚数が2枚であるにもかかわらず諸収差を良好に補正している。

【0286】実施例43の無限遠物点の収差状況は、図101に示す通りである。

【0287】実施例44は図44に示すものであり、物体側より順に正レンズと正レンズと正レンズとで構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズと両凸形状の正レンズと明るさ絞りSと凹面形状の正レンズよりなり、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0288】実施例44は、前記実施例43と比較して前群を正レンズ2枚で構成して屈折力を分配し、レンズ全系で諸収差をより良好に補正した例である。

【0289】実施例44の無限遠物点の収差状況は、図102に示す通りである。

【0290】実施例45乃至実施例49は、いずれもレンズ系中に反射面を設けたもので本発明の第4の構成のレンズ系で、夫々次に述べる通りの構成である。

【0291】実施例45は図45に示すものであり、物体側より順に、負レンズと正レンズと正レンズとにて構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を像側に向けた負レンズと反射面Rを有する正レンズと明るさ絞りSと両平面で正の屈折力を有するラジアル型屈折率分布レンズにて構成されている。

【0292】実施例45は反射面Rを用いて図50で示した様にx方向に薄型のレンズ系を達成した例である。

【0293】また、反射面を用いた場合はレンズ全長に多少ゆとりがあるため、レンズ全系での非対称性が緩和される。少なくとも1面の反射面を用いる場合に倍率の色収差を良好に補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズが条件(20)を満足することが望ましい。

【0294】

(20)  $-0.02 < 1/V_1 < 0.01$

もし、条件(20)の上限値の0.01を超えると倍率の色収差が補正不足となる。また、下限値の-0.02を超えると倍率の色収差が補正過剰となるため好ましくない。

【0295】また、レンズ系中に少なくとも1面の反射面を用いる場合に倍率の色収差およびベッツバール和を良好に補正するためには、ラジアル型屈折率分布レンズが条件(21)を満足することが望ましい。

【0296】

(21)  $-0.3 < N_1 \times f^1 < -0.03$

もし、条件(21)の上限値の-0.03を超えると、倍率の色収差およびベッツバール和が補正不足になるため好ましくない。また、もし下限値の-0.3を超えてしまうとベッツバール和が補正過剰となるため好ましくない。

【0297】また、この実施例45は、ラジアル型屈折

率分布レンズが両平面の形状であるため、偏芯に強く加工性に優れたレンズ系である。また、第1レンズを光軸上で物体側に移動させることにより至近距離物点へのフォーカシングを可能としている。また、ラジアル型屈折率分布レンズを撮像素子の保護ガラス1と接着することも可能である。また、ラジアル型屈折率分布レンズで保護ガラスを代用し保護ガラスCを省くことも可能である。

【0298】また、反射面とレンズ作用を有する透明体はプラスチック、ガラス、結晶、液体等の透明体を用いて作製することが可能である。

【0299】また、反射面を用いた場合は用いない場合と比較して像面位置で物体像が反転するがこの反転像は電氣的に補正することが可能である。例えば、メモリー上に電氣的に蓄えられた反転像を反対側から読み出すことにより補正することができる。

【0300】実施例45の無限遠物点、100mmの物点の収差状況は、夫々図103、図104に示す通りである。

【0301】実施例46は図46に示すものであり、物体側より順に、負レンズと正レンズと正レンズとにて構成されている。つまり、物体側より順に凹面を像側に向けた負レンズと反射面Rと両凸形状の正レンズと絞りSと凹面を物体側に向けたメニスカス形状の正レンズからなり、最も像側のレンズがラジアル型屈折率分布レンズである。また、第1レンズの像側の面を非球面にしたことにより、特に歪曲収差を良好に補正している。

【0302】実施例46では反射面Rを用いて図51で示した様に薄型のレンズ系を達成した例である。

【0303】また、少なくとも1面の反射面を用いる場合に良好な結像性能達成するにはラジアル型屈折率分布レンズが条件(22)を満足することが望ましい。

【0304】(22)  $2 < t_e / f < 7$

【0305】条件(22)を満足すればラジアル型屈折率分布レンズ内部の透過率やフレアを悪化させずに倍率の色収差を良好に補正することが可能である。もし、条件(22)の下限値の2を超えると倍率の色収差が補正不足となる。また、上限値の7を超えるとフレアや透過率の悪化が問題となるため好ましくない。

【0306】実施例46の無限遠物点の収差状況は、図105に示す通りである。

【0307】実施例47は図47に示すものであり、物体側より順に負レンズと正レンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、反射面Rを有する両凹形状の負レンズと絞りSと両平面のラジアル型屈折率分布レンズと反射面R<sub>i</sub>からなるものである。実施例47では最も像側のレンズの像側に反射面R<sub>i</sub>を設けたことにより撮像面と物体面とを平行にした例である。

【0308】また、本発明のレンズ系で少なくとも1面の反射面を有する場合により高い結像性能を要するシス

テムに適用する場合は、ラジアル型屈折率分布レンズが条件(23)を満足することが望ましい。

【0309】

(23)  $-0.1 < N_1 \cdot f' < 0.1$

もし、条件(23)の下限値の-0.1を超えるとコマ収差が補正不足になるため好ましくない。また、上限値の0.1を超えるとコマ収差が補正過剰になるため好ましくない。

【0310】実施例47の無限遠物点の収差状況は、図106に示す通りである。

【0311】実施例48は図48に示すものであり、物体側より順に、正レンズと正レンズとにて構成されている。つまり、物体側より順に明るさ絞りSと反射面Rを有する両凸形状の正レンズと絞りSと両平面のラジアル型屈折率分布レンズからなるものである。実施例48は絞りを反射面よりも物体側に配置して絞り機構の作製が容易となっている。

【0312】実施例48の無限遠物点の収差状況は、図107に示す通りである。

【0313】実施例49は図49に示すもので、物体側より順に、負レンズと正レンズと正レンズで構成されている。つまり、物体側より順に凹面を像側に向けた負レンズと反射面Rを有する正レンズと絞りSと両平面で正の屈折力を有するラジアル型屈折率分布レンズからなるものである。また、第1レンズの像側の面を非球面としたことで特に歪曲収差を良好に補正した例である。

【0314】また、実施例49は、レンズ系をマスターレンズ部分Mと交換レンズ部分Aとにて構成される。例えば、絞りよりも物体側の交換レンズ部分Aを図50に示すように反射面Rのみのものと切り換えることによって、極めて容易に2焦点レンズ系を達成できる。また、複数の交換レンズ部分を用いれば複数焦点レンズ系を達成できる。また、マスターレンズ部分Mは全て共通で用いることができるので、安価に実現することが可能である。また、交換レンズ部分Aの屈折力をほぼ0とし、後群へは略アフォーカルな光線が入射するようにしている。

【0315】また、交換レンズ部分の切り替え手段としては例えば図52(A)、(B)に示す方法がある。図52は本発明のレンズ系カメラ等の撮像装置に用いた場合を示し、物体側から撮像装置を見た場合の断面図である。図中11は撮像装置の枠、12は光軸、13はマスターレンズ部分、14および15は交換レンズAおよび交換レンズB、6は交換レンズA、Bの切り替え機構である。図52(A)はマスターレンズと交換レンズAを組み合わされたレンズ系を示している。また、図52

(B)は切り換え機構16を上方に移動させてマスターレンズと交換レンズ15を組み合わせたレンズ系を達成した状態を示している。このように交換レンズを切り換えることによって2焦点レンズ系を実現できる。

【0316】また、別な手段として例えば図52 (C)、(D)、(E)に示すような方法もある。図52 (C)は本発明のレンズ系をカメラ等の撮像装置に用いた場合を示し、物体側から撮像装置を見た場合を示している。図52 (C)、(D)、(E)中11は撮像装置の枠、12は光軸、13はマスターレンズ部分、14、15、16、17は交換レンズA、B、C、D、18は交換レンズA、B、C、Dの切り替え機構、19は反射面、20は切り替え機構18の回転軸である。図52 (D)はマスターレンズと交換レンズAが組み合わされたレンズ系を示し、また、図52 (E)は切り換え機構18を回転軸10を中心に90°回転させてマスターレンズと交換レンズBを組み合わせてレンズ系を達成した状態を示している。このように交換レンズを切り換えて4焦点レンズ系を実現し得る。

【0317】実施例49の無限遠部点の収差状況は、図108、図109に示す通りである。

【0318】以上説明した本発明のレンズ系は、特許請求の範囲に記載したレンズ系以外に次に記載するものも本発明の目的を達成し得るレンズ系である。

【0319】(1) 物体側より順に正レンズと負レンズで構成された前群と、少なくとも1枚の正レンズで構成された後群とよりなり、半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを前記後群中に少なくとも1枚用い、下記の条件(6)を満足することを特徴としたレンズ系。

【0320】

(6)  $-0.2 < 1/V_1 < 0.007$

(2) 前群が1枚の正レンズと1枚の負レンズで構成され、後群が2枚の正レンズで構成され、半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを前記後群中に1枚用いたことを特徴とするレンズ系。

【0321】(3) 複数枚のレンズで構成され、1枚のレンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、絞りが最も物体側に配置され、条件(1)を満足することを特徴としたレンズ系。

【0322】(4) 正レンズ1枚の前群と少なくとも1枚の正レンズを含む後群よりなり、半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを前記後群に少なくとも1枚用いたことを特徴としたレンズ系。

【0323】(5) 前記の(4)に記載されたレンズ系で、前群と後群との間に絞りを配置したことを特徴とするレンズ系。

【0324】(6) 少なくとも1面の反射面と半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズとを含み、条件(1)を満足することを特徴としたレンズ系。

【0325】(7) 半径方向に軸対称な屈折率分布を有

するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも1まい含み、該ラジアル型屈折率分布レンズの少なくとも1面が非球面形状であることを特徴としたレンズ系。

【0326】(8) レンズ系中に少なくとも1枚の半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズと、少なくとも1面の反射面を有する光学素子を有し、前記光学素子の少なくとも1面がレンズ作用を持つ面であることを特徴とするレンズ系。

【0327】(9) レンズ系中に半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも1枚含む複数枚のレンズで構成され、マスターレンズ部分と交換レンズ部分とよりなり、交換レンズ部分は異なる光学特性を有する複数のレンズ群で構成され、マスターレンズ部分に対応する様に、前記交換レンズ部分の各レンズ群が切り替わることを特徴としたレンズ系。

【0328】(10) 物体側より順に負レンズと絞りと正レンズで構成され、正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、条件(5)を満足することを特徴としたレンズ系。

【0329】(11) 物体側より順に負レンズと負レンズと絞りと正レンズで構成され、正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0330】(12) 物体側より順に負レンズと絞りと正レンズと正レンズで構成され物体側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、条件(1)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0331】(13) 物体側より順に負レンズと絞りと正レンズと負レンズで構成され、正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0332】(14) 物体側より順に負レンズと絞りと負レンズと正レンズで構成され、正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0333】(15) 物体側より順に負レンズと絞りと正レンズと正レンズで構成され像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、条件(2)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0334】(16) 物体側より順に絞りと負レンズと正レンズで構成され正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0335】(17) 物体側より順に絞りと正レンズと正レンズで構成され像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0336】(18) 物体側より順に絞りと正レンズと負

レンズで構成され正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0337】(19) 物体側より順に絞りと正レンズと正レンズで構成され物体側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、条件(1)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0338】(20) 物体側より順に絞りと正レンズと正レンズと正レンズで構成され最も像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0339】(21) 物体側より順に絞りと正レンズと負レンズと正レンズで構成され像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0340】(22) 物体側より順に絞りと正レンズと正レンズと正レンズで構成され2番目の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0341】(23) 物体側より順に絞りと正レンズと正レンズと負レンズで構成され像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0342】(24) 物体側より順に絞りと負レンズと正レンズと正レンズで構成され像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0343】(25) 物体側より順に絞りと負レンズと負レンズと正レンズで構成され前記正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0344】(26) 物体側より順に絞りと負レンズと正レンズと正レンズで構成され物体側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0345】(27) 物体側より順に絞りと負レンズと正レンズと負レンズで構成され正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0346】(28) 物体側より順に絞りと正レンズと正レンズと正レンズで構成され最も物体側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0347】(29) 物体側より順に絞りと正レンズと正レンズと負レンズで構成され物体側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0348】(30) 物体側より順に絞りと正レンズと負レンズと正レンズで構成され物体側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布

レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0349】(31) 物体側より順に絞りと正レンズと負レンズと負レンズで構成され正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0350】(32) 物体側より順に正レンズと絞りと正レンズで構成され像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、条件(2)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0351】(33) 物体側より順に正レンズと絞りと正レンズと正レンズ構成され2番目の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0352】(34) 物体側より順に正レンズと絞りと正レンズと負レンズで構成され像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0353】(35) 物体側より順に正レンズと絞りと負レンズと正レンズで構成され像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0354】(36) 物体側より順に正レンズと絞りと正レンズと正レンズで構成され最も像側の正レンズが半径方向に軸対称な屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とするレンズ系。

【0355】(37) 前記の(1), (2), (4), (5), (7), (8), (9), (10), (11), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で条件(1)を満足するレンズ系。

【0356】(1)  $1/V_1 < 1/V_0$

(38) 前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で条件(2)を満足するレンズ系。

【0357】

(2)  $-2 < N_1 \times f^1 < -0.005$

(39) 前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で条件(3)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0358】

(3)  $-1 < N_1 \times f^1 < -0.01$

(40) 前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で条件(4)を満足することを特徴とするレンズ系。



## 【0359】

$$(4) \quad -0.5 < N_1 \times f^1 < -0.02$$

(41) 特許請求の範囲の請求項1又は2あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35)又は(36)の項に記載されたレンズ系で下記条件(5)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0360】(5) \quad 1/V_1 < 0.012$$

(42) 特許請求の範囲の請求項1又は2あるいは前記の(2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35)又は(36)の項に記載されたレンズ系で下記条件(6)を満足することを特徴とするレンズ系。

## 【0361】

$$(6) \quad -0.2 < 1/V_1 < 0.007$$

(43) 特許請求の範囲1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35)又は(36)の項に記載されているレンズ系で、下記条件(7)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0362】(7) \quad -0.1 < 1/V_1 < 0$$

(44) 特許請求の範囲1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35)又は(36)の項に記載されているレンズ系で、下記条件(8)を満足することを特徴とするレンズ系。

## 【0363】

$$(8) \quad -0.4 < N_1 \times f^1 < -0.05$$

(45) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35)又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(9)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0364】(9) \quad 0.5 < t_1/f < 1.0$$

(46) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35)又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(10)を満足することを特徴とするレンズ系。

## 【0365】

$$(10) \quad -0.5 < N_1 \times f^1 < 0.5$$

(47) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35)又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(11)を満足することを特徴とするレンズ系。

## 【0366】

$$(11) \quad -0.3 < N_1 \times f^1 < 0.3$$

(48) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (18), (21), (23), (24), (25), (26), (27), (29), (30), (31), (34)又は(35)の項に記載されたレンズ系で、下記条件(12)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0367】(12) \quad v_1/v_2 < 0.95$$

(49) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (18), (21), (23), (24), (25), (26), (27), (29), (30), (31), (34)又は(35)の項に記載されたレンズ系で下記条件(13)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0368】(13) \quad v_1/v_2 < 0.75$$

(50) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (18), (21), (23), (24), (25), (26), (27), (29), (30), (31), (34)又は(35)の項に記載されたレンズ系で下記条件(14)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0369】(14) \quad 1 < N_1/N_2$$

(51) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (21), (23), (24), (25), (26), (27), (29), (30), (31), (34)又は(35)の項に記載されたレンズ系で下記条件(15)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0370】(15) \quad 1 < N_1/N_2$$

(52) 特許請求の範囲の請求項3又は4あるいは前記の(1), (2), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (32), (33), (34), (35)又は(36)の項に記載されたレンズ系で下記条件(16)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0371】(16) \quad v_1 < 5.0$$

(53) 特許請求の範囲の請求項1, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (32), (33), (34), (35)又は(36)の項に記載されたレンズ系で下記条件(17)を満足することを特徴とするレンズ系。

$$【0372】(17) \quad v_1 < 4.2$$

(54) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10),

(11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(18)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0373】(18)  $1 < t_e / f < 6$

(55) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(19)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0374】(19)  $0.5 < t_e / f < 4$

(56) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(20)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0375】

(20)  $-0.02 < 1/V_1 < 0.01$

(57) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(21)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0376】

(21)  $-0.3 < N_1 \times f^2 < -0.03$

(58) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(22)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0377】(22)  $2 < t_e / f < 7$

(59) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されているレンズ系で、下記条件(23)を満足することを特徴とするレンズ系。

【0378】

(3)  $-0.1 < N_1 \times f^4 < 0.1$

(60) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは

は前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されたレンズ系でレンズ系中に用いられるラジアル型屈折率分布レンズは1枚であることを特徴とするレンズ系。

【0379】(61) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されたレンズ系で少なくとも1枚のレンズが特定の波長成分をカットする機能を持つことを特徴とするレンズ系。

【0380】(62) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されているレンズ系でラジアル型屈折率分布レンズが特定の波長成分をカットする機能を持つことを特徴とするレンズ系。

【0381】(63) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系でラジアル型屈折率分布レンズの像側の面を凸面形状としたことを特徴とするレンズ系。

【0382】(64) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、少なくとも1枚、凹面が絞り側に向いたメニスカス形状のレンズを用いることを特徴とするレンズ系。

【0383】(65) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、接合後の形状がメニスカス形状となるように、少なくとも2枚のレンズを接着あるいは密着させた接合レンズを少なくとも1枚用いたことを特徴とするレンズ系。

【0384】(66) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、接合後の形状がメニスカス形状となるように、少なくとも2枚のレンズを接着あるいは密着させた接合レンズを少なくとも1枚用いたことを特徴とするレンズ系。

8), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されたレンズ系で、少なくとも1組の接合レンズを用いたことを特徴とするレンズ系。

【0385】(67) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、少なくとも1枚のレンズの少なくとも1面が非球面形状であることを特徴とするレンズ系。

【0386】(68) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、非球面を樹脂、プラスチック、ガラスあるいは液体からなる透明体を接着あるいは密着させて作製したことを特徴とするレンズ系。

【0387】(69) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、非球面を精研削で作製したことを特徴とするレンズ系。

【0388】(70) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されたレンズ系で、ラジアル型屈折率分布レンズが両平面の形状であることを特徴とするレンズ系。

【0389】(71) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、レンズ系中に少なくとも1面の反射面を用いたことを特徴とするレンズ系。

【0390】(72) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、レンズ系中に少なくとも1面が平面形状であるレンズを少なくとも1枚用いたことを特徴とするレンズ系。

【0391】(73) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7),

(8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、前群が物体側より順に負レンズと正レンズで構成されたことを特徴とするレンズ系。

【0392】(74) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、撮像装置に用いることを特徴とするレンズ系。

【0393】(75) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)の項に記載されたレンズ系で、内視鏡対物レンズに用いることを特徴とするレンズ系。

【0394】(76) 特許請求の範囲の請求項1, 2, 3又は4あるいは前記の(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) 又は(36)に記載されたレンズ系で、測定器に用いることを特徴とするレンズ系。

#### 【0395】

【発明の効果】本発明のレンズ系は、レンズ枚数が2～4枚程度と極めて少なくコンパクトであってしかも諸収差が良好に補正されている。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の断面図

【図2】本発明の実施例2の断面図

【図3】本発明の実施例3の断面図

【図4】本発明の実施例4の断面図

【図5】本発明の実施例5の断面図

【図6】本発明の実施例6の断面図

【図7】本発明の実施例7の断面図

【図8】本発明の実施例8の断面図

【図9】本発明の実施例9の断面図

【図10】本発明の実施例10の断面図

【図11】本発明の実施例11の断面図

【図12】本発明の実施例12の断面図

【図13】本発明の実施例13の断面図

【図14】本発明の実施例14の断面図

【図15】本発明の実施例15の断面図

【図16】本発明の実施例16の断面図

【図17】本発明の実施例17の断面図

【図18】本発明の実施例18の断面図

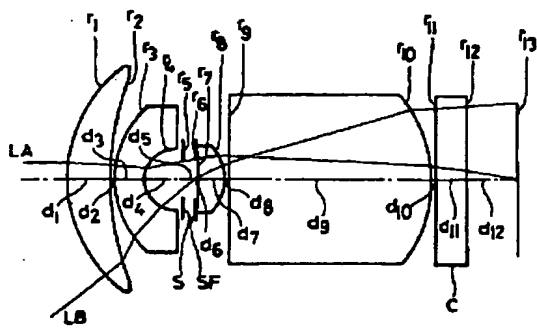
【図19】本発明の実施例19の断面図

【図 2 0】本発明の実施例 2 0 の断面図  
 【図 2 1】本発明の実施例 2 1 の断面図  
 【図 2 2】本発明の実施例 2 2 の断面図  
 【図 2 3】本発明の実施例 2 3 の断面図  
 【図 2 4】本発明の実施例 2 4 の断面図  
 【図 2 5】本発明の実施例 2 5 の断面図  
 【図 2 6】本発明の実施例 2 6 の断面図  
 【図 2 7】本発明の実施例 2 7 の断面図  
 【図 2 8】本発明の実施例 2 8 の断面図  
 【図 2 9】本発明の実施例 2 9 の断面図  
 【図 3 0】本発明の実施例 3 0 の断面図  
 【図 3 1】本発明の実施例 3 1 の断面図  
 【図 3 2】本発明の実施例 3 2 の断面図  
 【図 3 3】本発明の実施例 3 3 の断面図  
 【図 3 4】本発明の実施例 3 4 の断面図  
 【図 3 5】本発明の実施例 3 5 の断面図  
 【図 3 6】本発明の実施例 3 6 の断面図  
 【図 3 7】本発明の実施例 3 7 の断面図  
 【図 3 8】本発明の実施例 3 8 の断面図  
 【図 3 9】本発明の実施例 3 9 の断面図  
 【図 4 0】本発明の実施例 4 0 の断面図  
 【図 4 1】本発明の実施例 4 1 の断面図  
 【図 4 2】本発明の実施例 4 2 の断面図  
 【図 4 3】本発明の実施例 4 3 の断面図  
 【図 4 4】本発明の実施例 4 4 の断面図  
 【図 4 5】本発明の実施例 4 5 の断面図  
 【図 4 6】本発明の実施例 4 6 の断面図  
 【図 4 7】本発明の実施例 4 7 の断面図  
 【図 4 8】本発明の実施例 4 8 の断面図  
 【図 4 9】本発明の実施例 4 9 の断面図  
 【図 5 0】本発明の実施例 4 9 の他の例の断面図  
 【図 5 1】本発明のレンズ系を電子撮像カメラに組込んだ時の模式図  
 【図 5 2】本発明のマスターレンズと交換レンズとよりなるレンズ系で交換レンズの交換手段を示す図  
 【図 5 3】実施例 1 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 5 4】実施例 2 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 5 5】実施例 2 の 5 0 mm の物点の収差曲線図  
 【図 5 6】実施例 3 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 5 7】実施例 4 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 5 8】実施例 5 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 5 9】実施例 5 の 5 0 mm の物点の収差曲線図  
 【図 6 0】実施例 6 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 6 1】実施例 7 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 6 2】実施例 8 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 6 3】実施例 9 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 6 4】実施例 9 の 5 0 mm の物点の収差曲線図

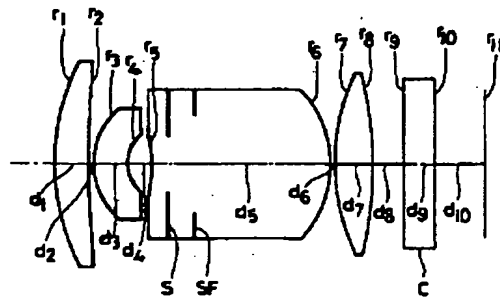
\* 【図 6 5】実施例 1 0 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 6 6】実施例 1 0 の 5 0 mm の物点の収差曲線図  
 【図 6 7】実施例 1 1 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 6 8】実施例 1 2 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 6 9】実施例 1 3 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 7 0】実施例 1 4 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 7 1】実施例 1 5 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 7 2】実施例 1 6 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 7 3】実施例 1 7 の無限遠物点の収差曲線図  
 10 【図 7 4】実施例 1 8 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 7 5】実施例 1 9 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 7 6】実施例 2 0 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 7 7】実施例 2 0 の 5 0 mm の物点の収差曲線図  
 【図 7 8】実施例 2 1 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 7 9】実施例 2 2 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 0】実施例 2 3 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 1】実施例 2 4 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 2】実施例 2 5 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 3】実施例 2 6 の無限遠物点の収差曲線図  
 20 【図 8 4】実施例 2 7 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 5】実施例 2 8 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 6】実施例 2 9 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 7】実施例 3 0 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 8】実施例 3 1 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 8 9】実施例 3 2 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 9 0】実施例 3 3 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 9 1】実施例 3 4 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 9 2】実施例 3 5 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 9 3】実施例 3 6 の無限遠物点の収差曲線図  
 30 【図 9 4】実施例 3 7 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 9 5】実施例 3 8 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 9 6】実施例 3 8 の 2 0 0 mm の物点の収差曲線図  
 【図 9 7】実施例 3 9 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 9 8】実施例 4 0 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 9 9】実施例 4 1 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 1 0 0】実施例 4 2 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 1 0 1】実施例 4 3 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 1 0 2】実施例 4 4 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 1 0 3】実施例 4 5 の無限遠物点の収差曲線図  
 40 【図 1 0 4】実施例 4 5 の 1 0 0 mm の物点の収差曲線図  
 【図 1 0 5】実施例 4 6 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 1 0 6】実施例 4 7 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 1 0 7】実施例 4 8 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 1 0 8】実施例 4 9 の無限遠物点の収差曲線図  
 【図 1 0 9】実施例 4 9 の他の例の無限遠物点の収差曲線図

\*

【図 1】

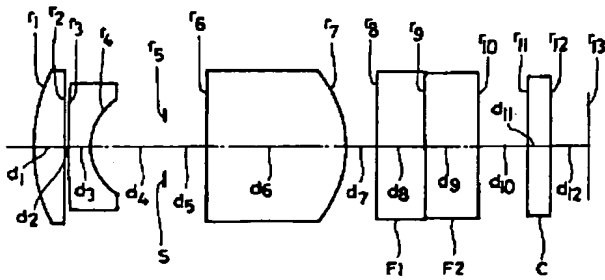


【図 2】



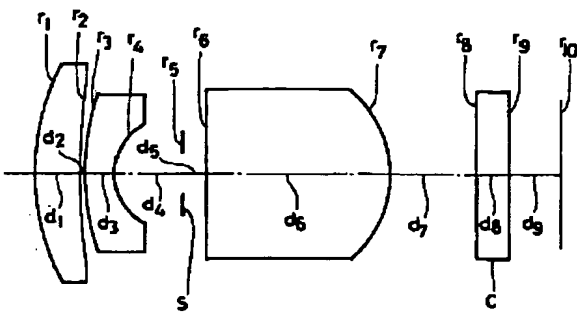
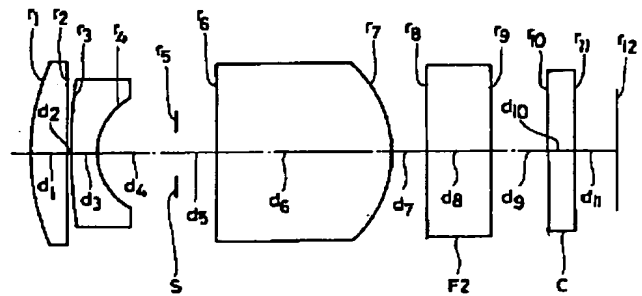
【図 4】

【図 3】

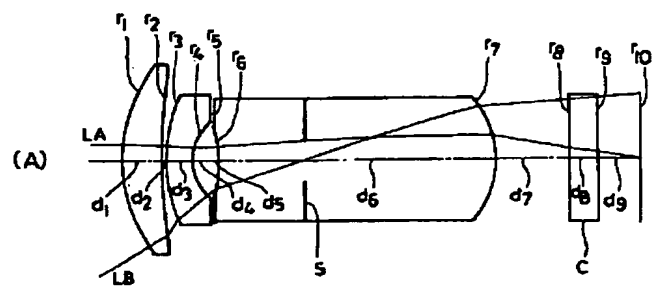


【図 5】

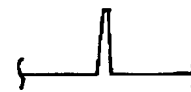
【図 6】



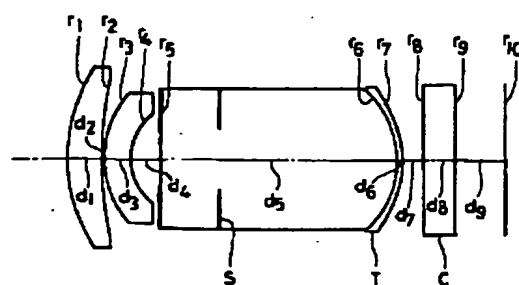
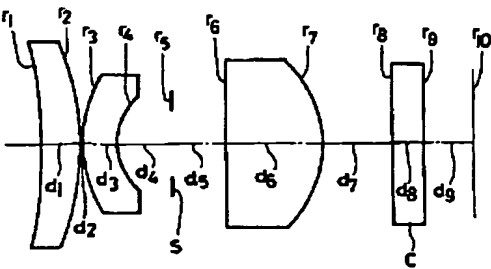
【図 8】



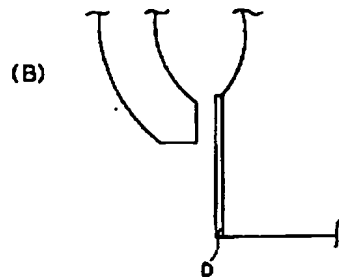
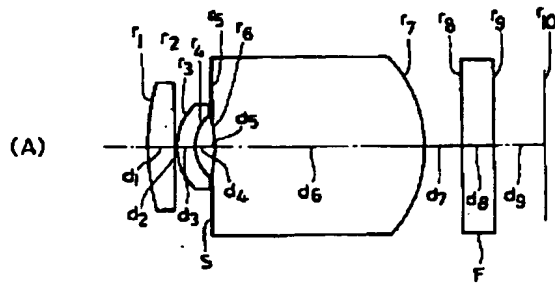
(B)



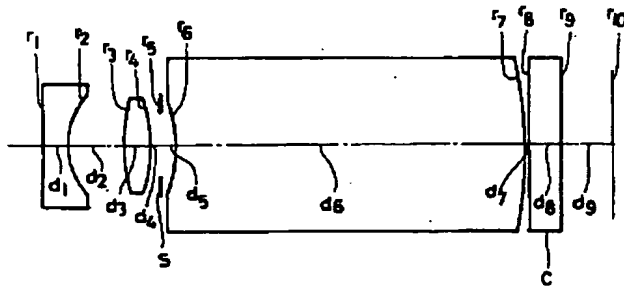
【図 9】



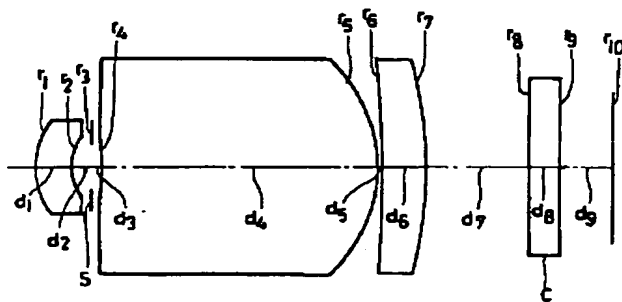
【図 7】



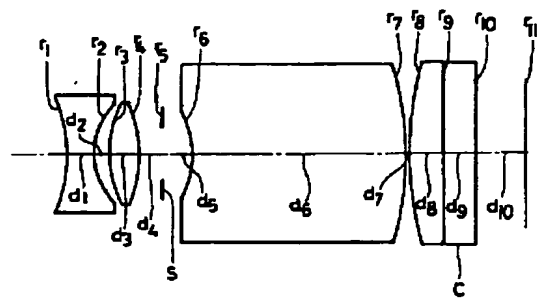
【図 11】



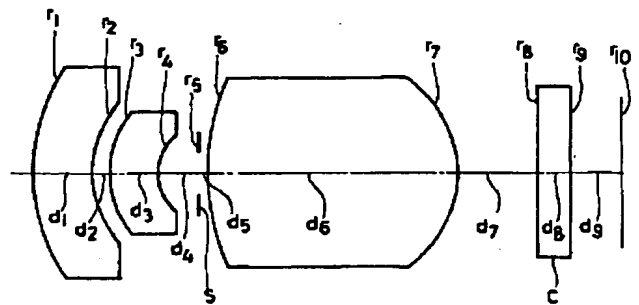
【図 13】



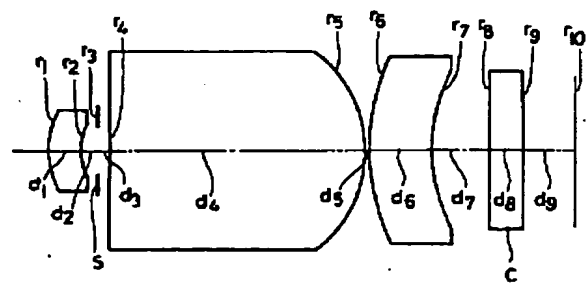
【図 10】



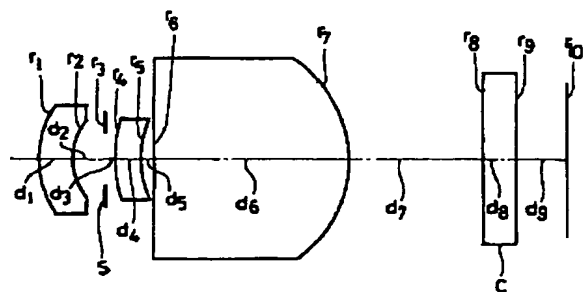
【図 12】



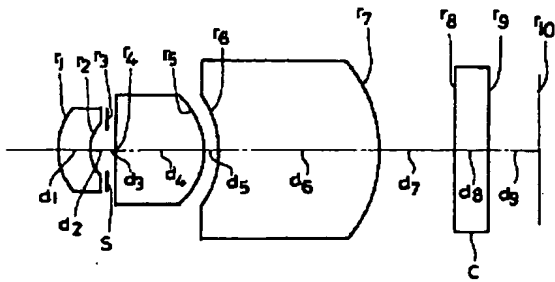
【図 14】



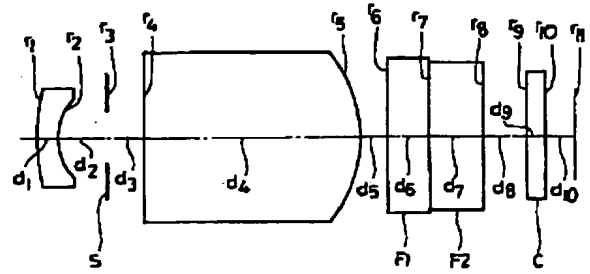
【図 15】



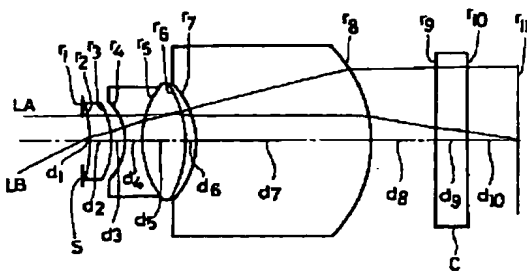
【図 16】



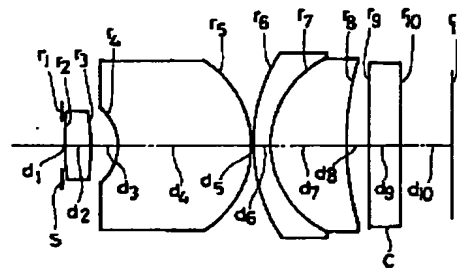
【図 17】



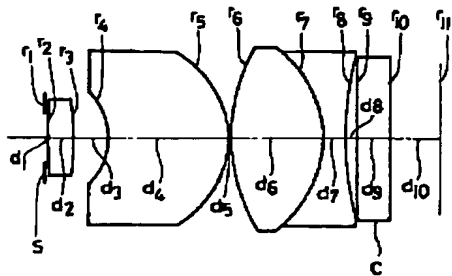
【図 18】



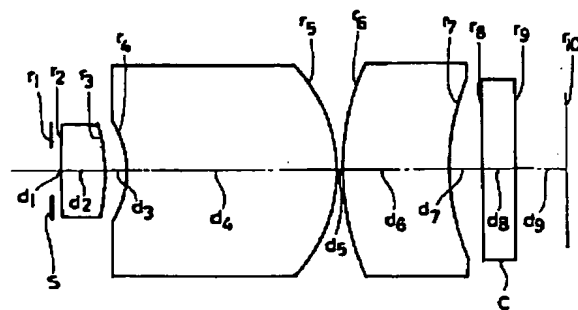
【図 19】



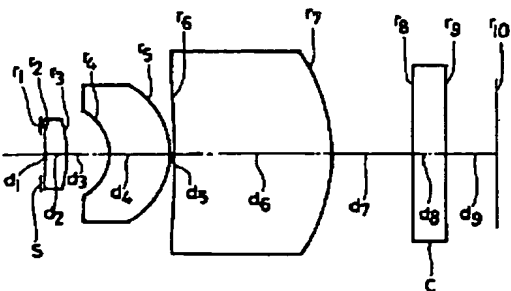
【図 20】



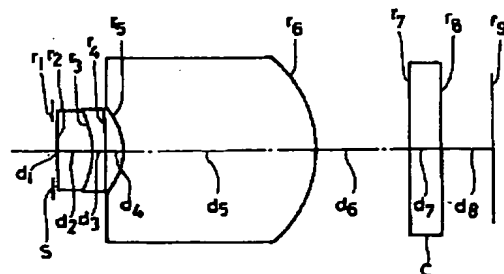
【図 21】



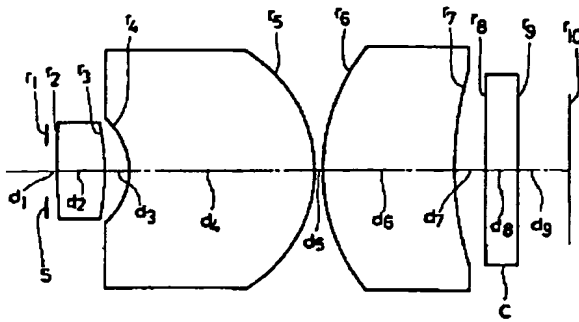
【図 22】



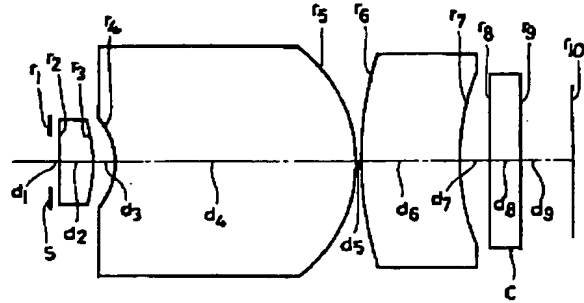
【図 23】



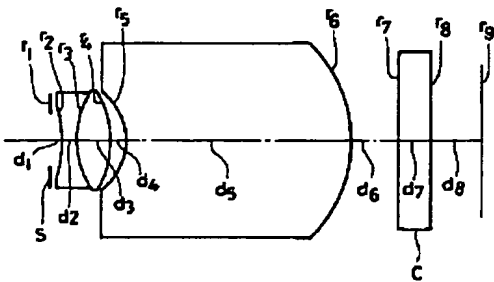
【図 24】



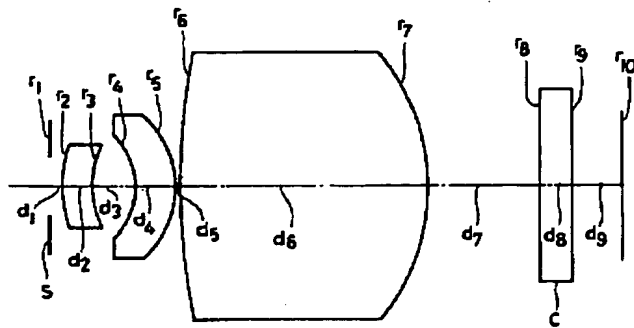
【図 25】



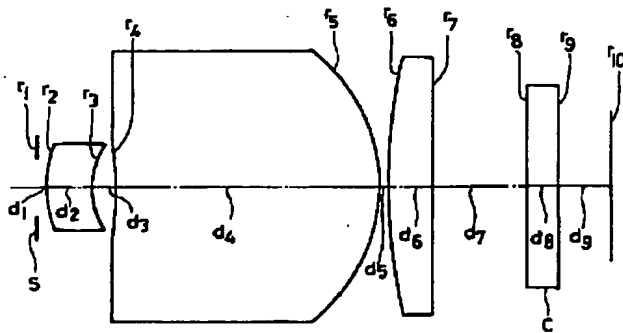
【図 26】



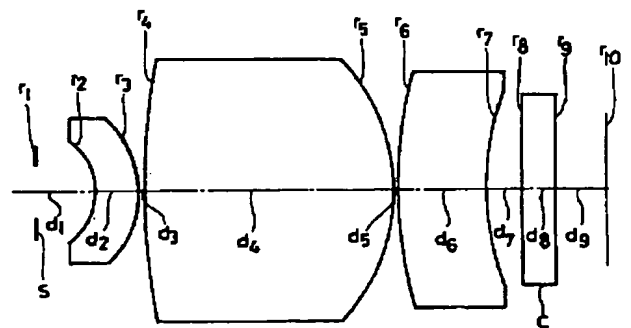
【図 27】



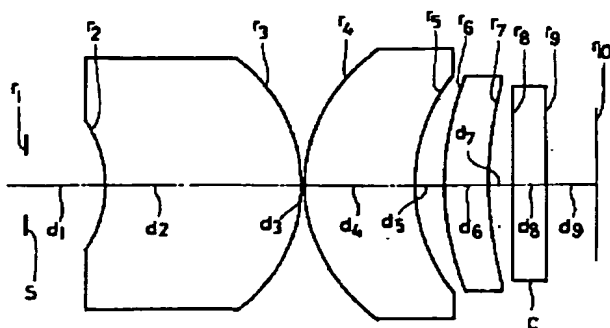
【図 28】



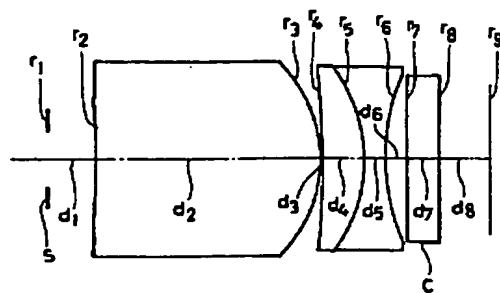
【図 29】



【図 30】

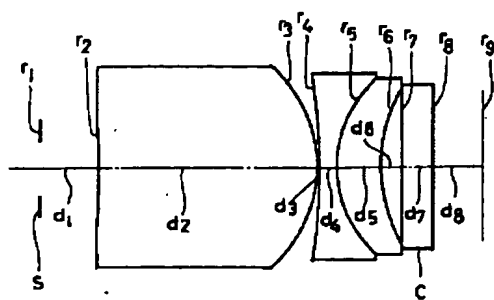


【図 31】

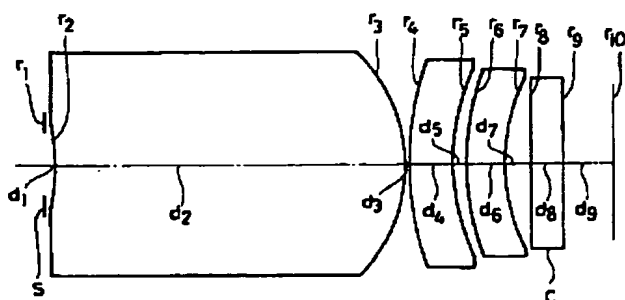




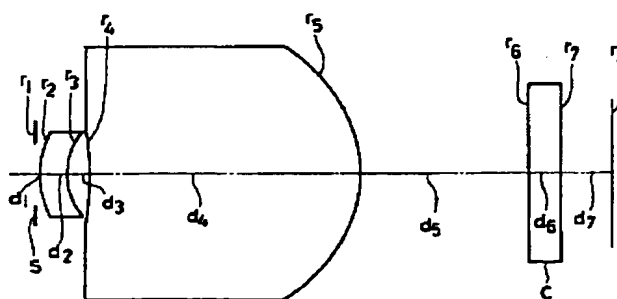
【図 3 2】



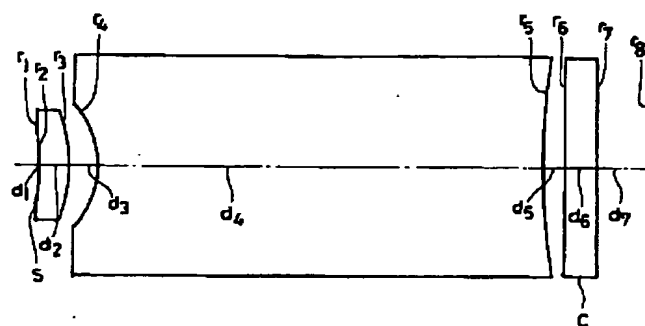
【図 3 3】



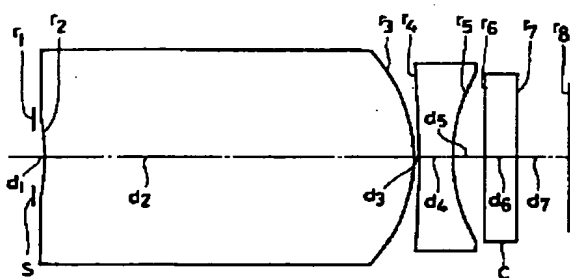
【図 3 4】



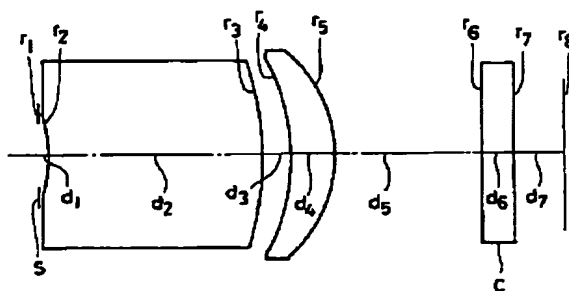
【図 3 5】



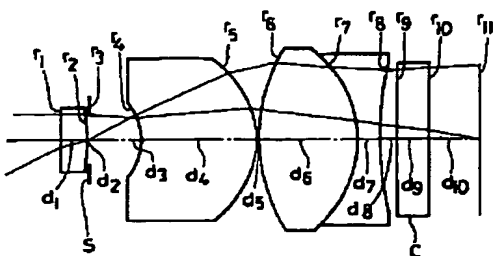
【図 3 6】



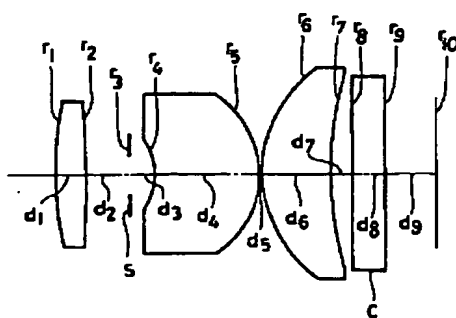
【図 3 7】



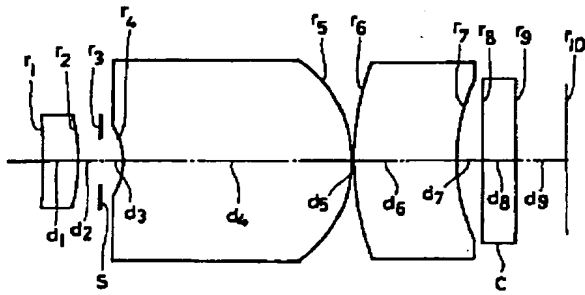
【図 3 8】



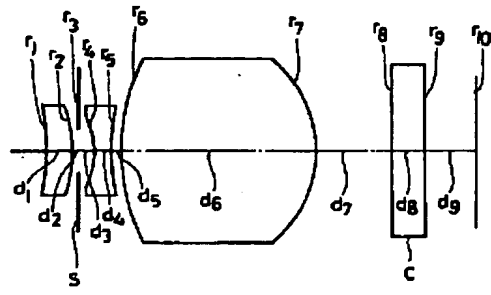
【図 3 9】



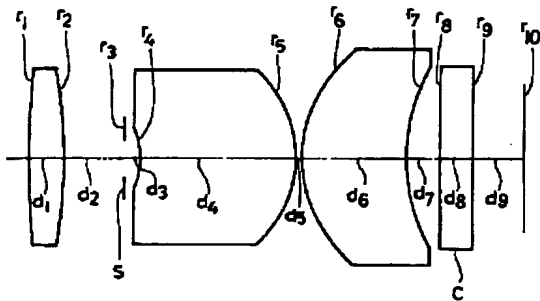
【図 40】



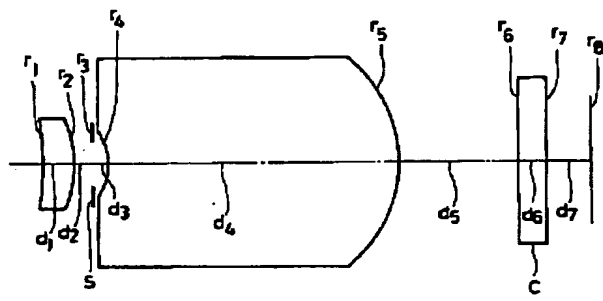
【図 41】



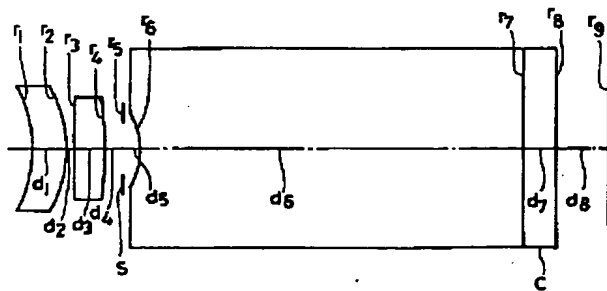
【図 42】



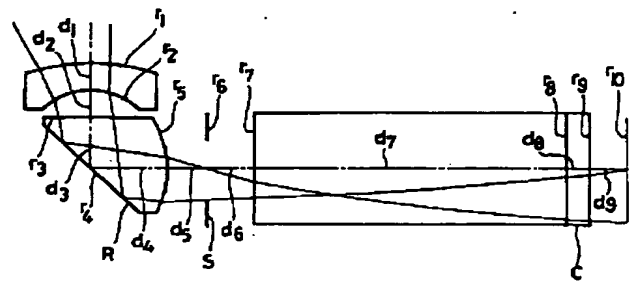
【図 43】



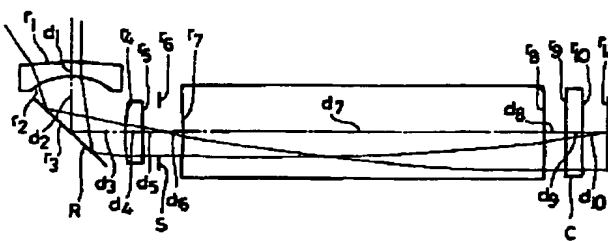
【図 44】



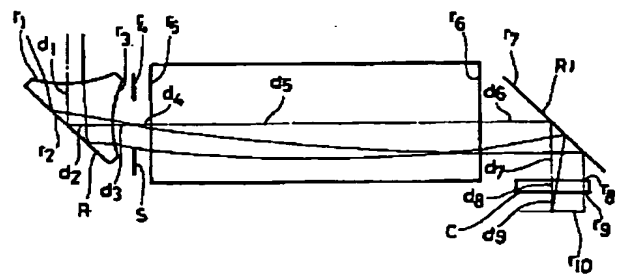
【図 45】



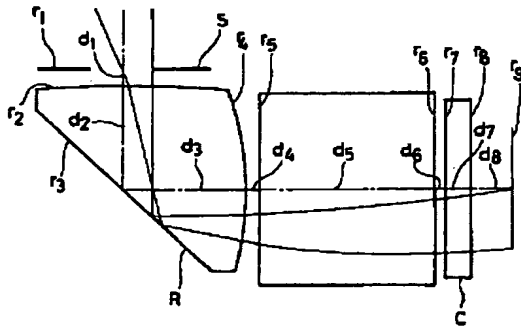
【図 46】



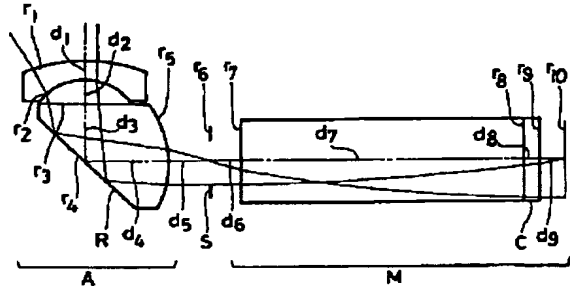
【図 47】



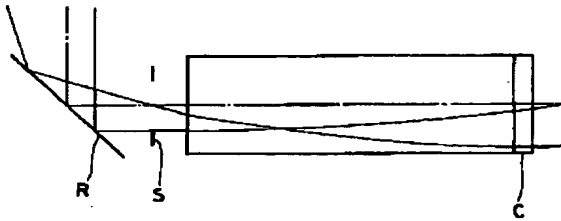
【図 48】



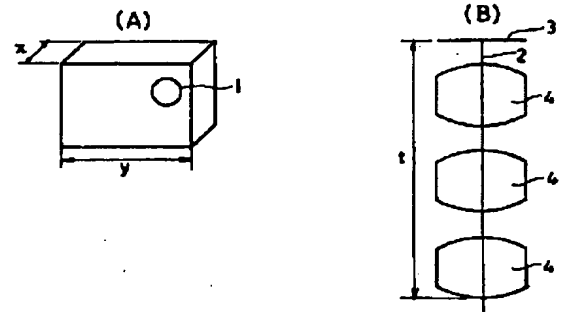
【図 49】



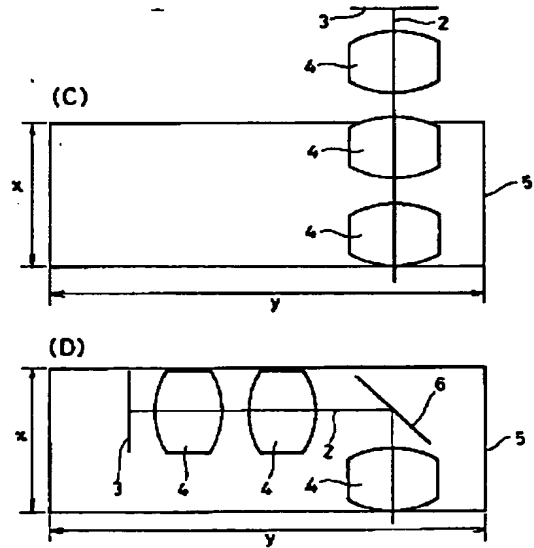
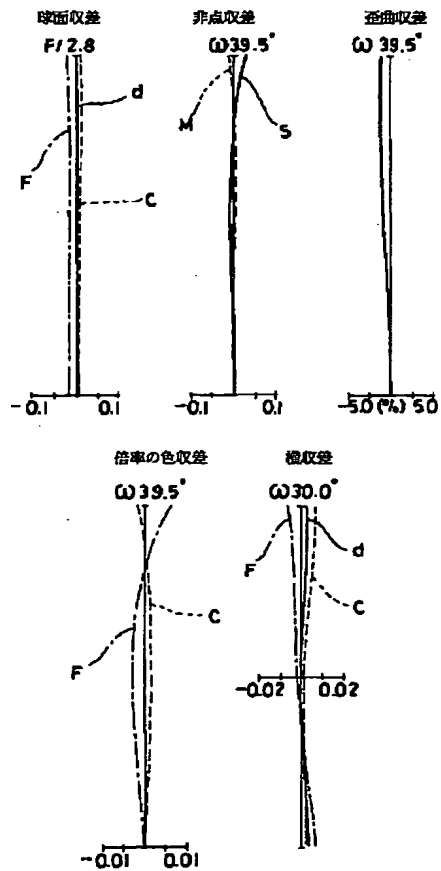
【図 50】



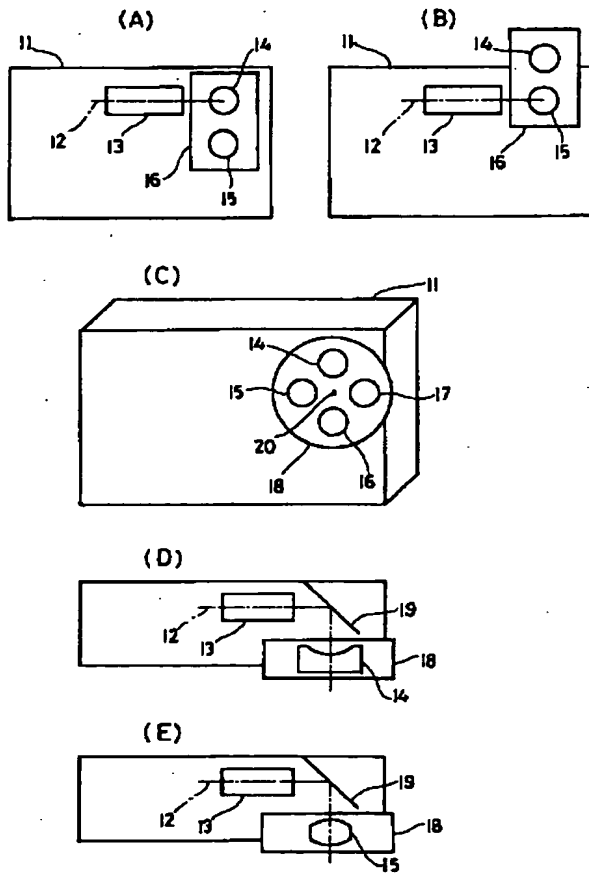
【図 51】



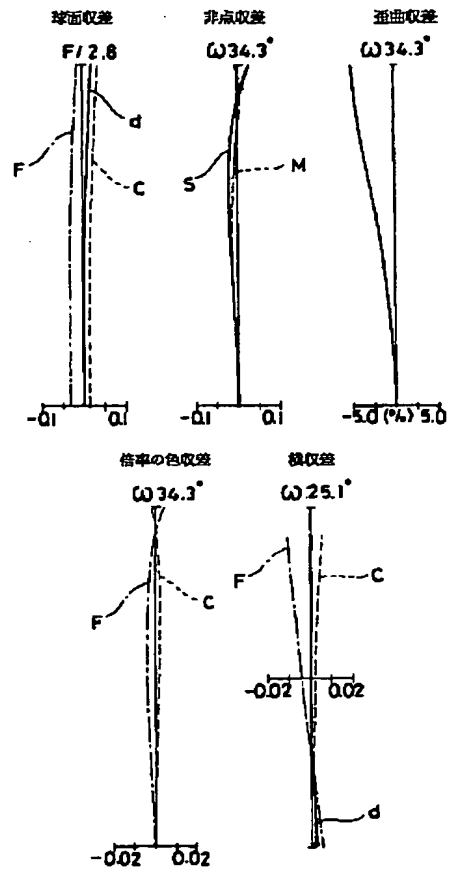
【図 53】



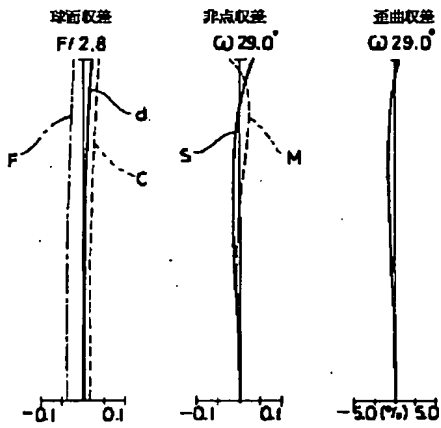
【図 5 2】



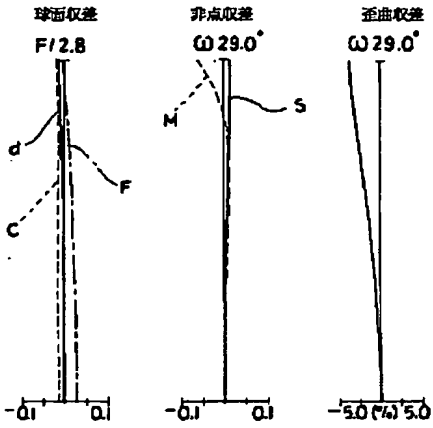
【図 5 4】



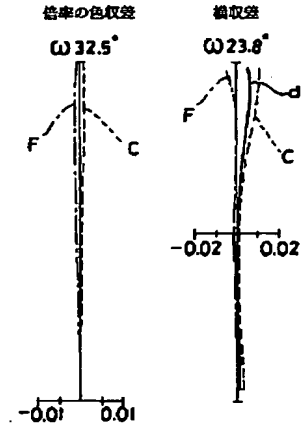
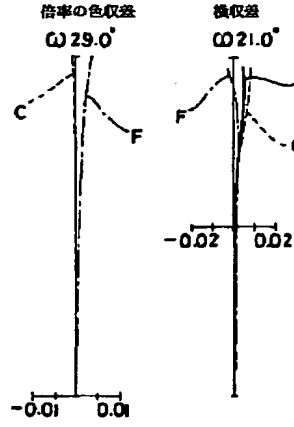
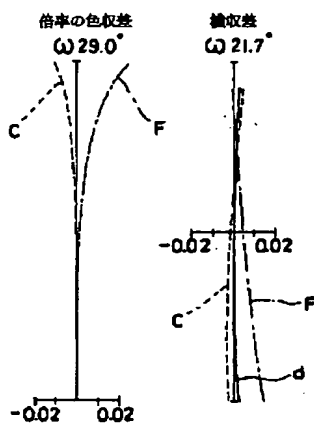
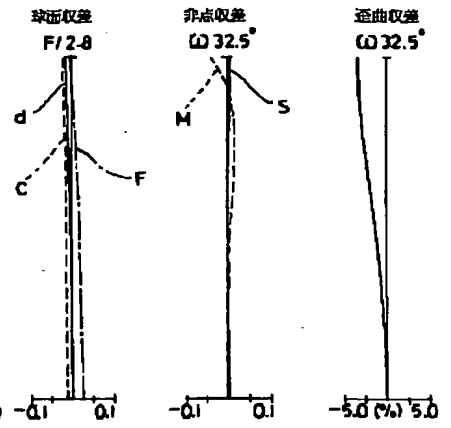
【図 5 5】



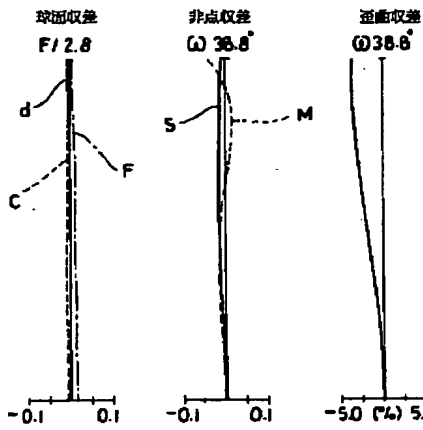
【図 5 6】



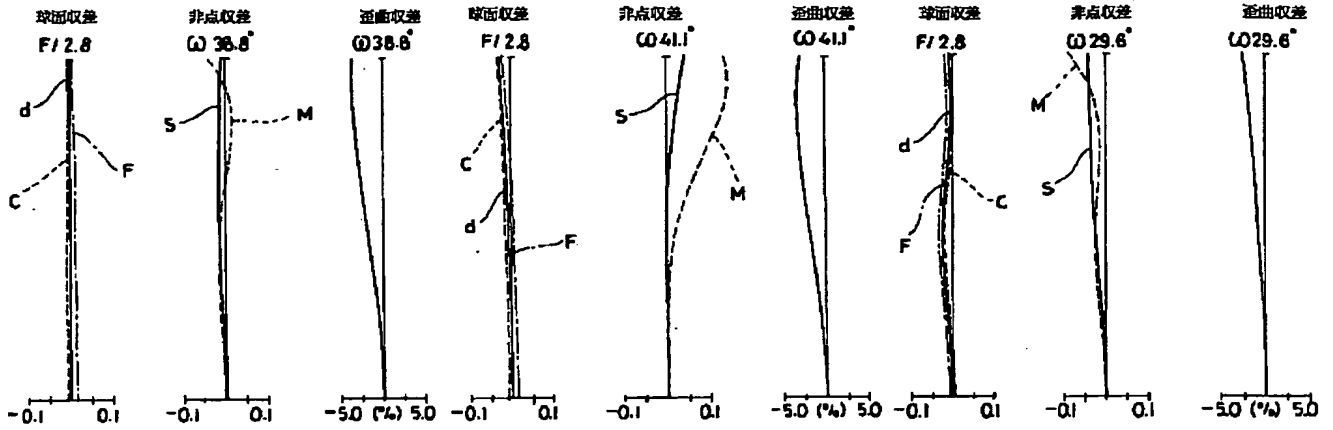
【図 5 7】



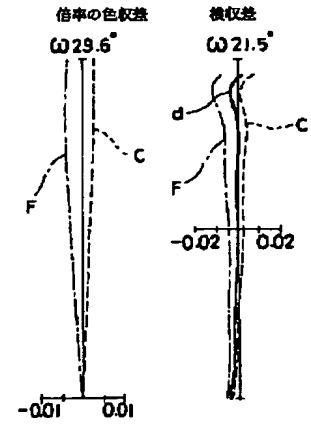
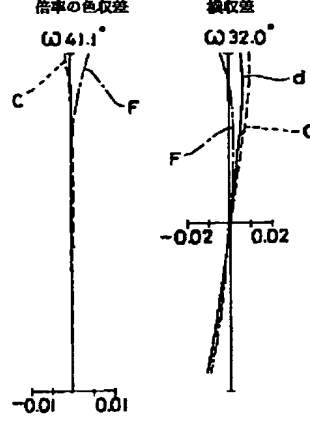
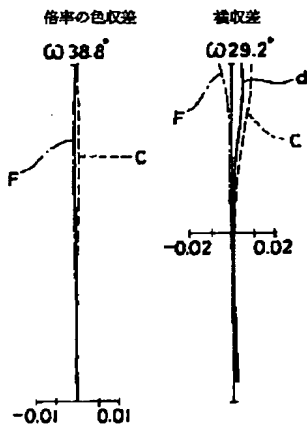
【図 58】



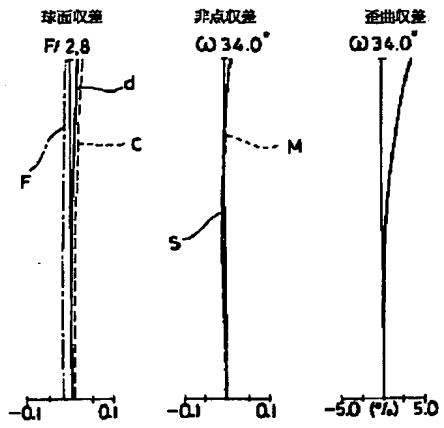
【図 59】



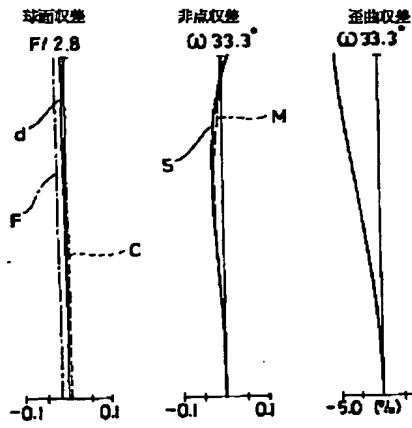
【図 75】



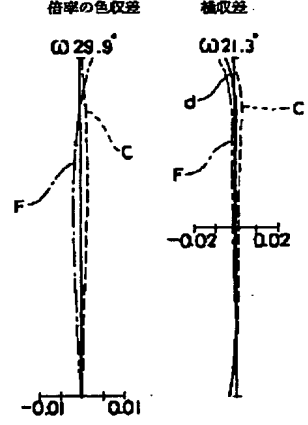
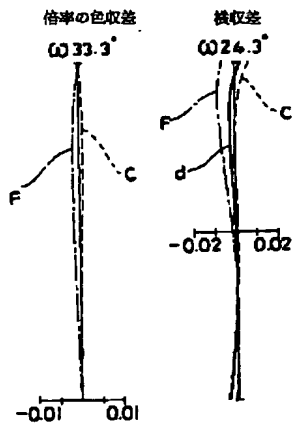
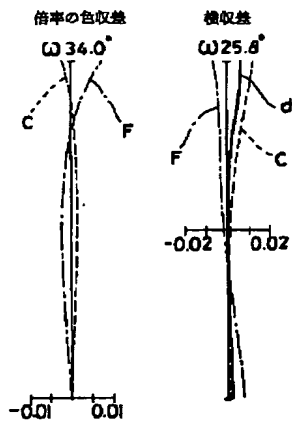
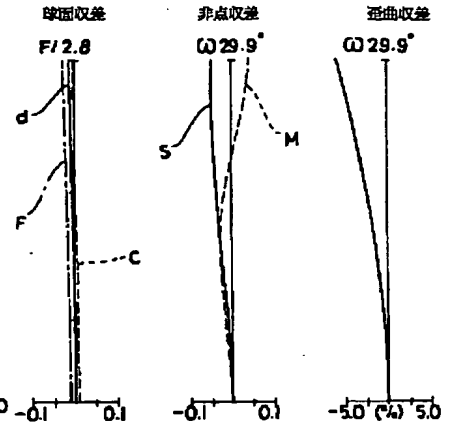
【図60】



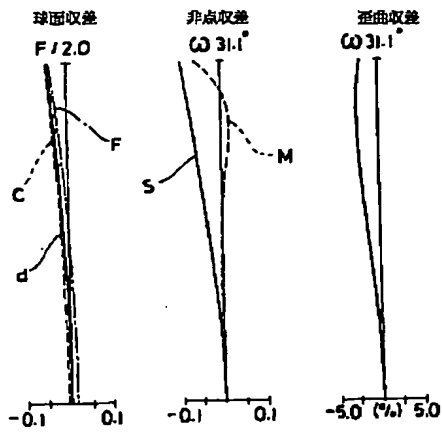
【図61】



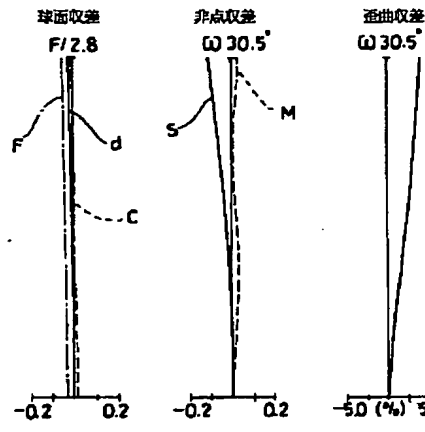
【図77】



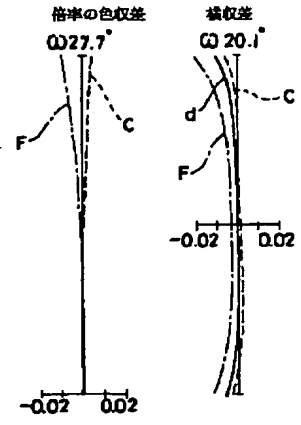
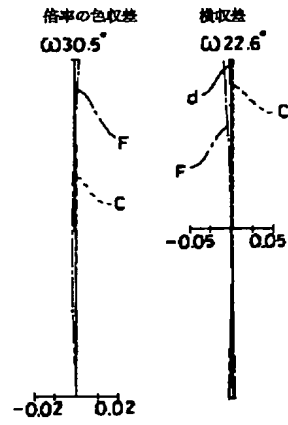
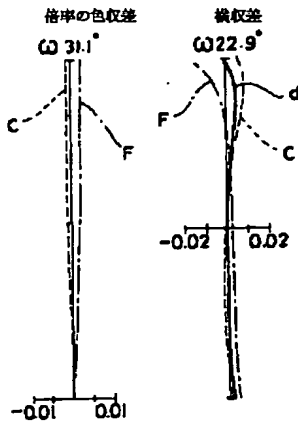
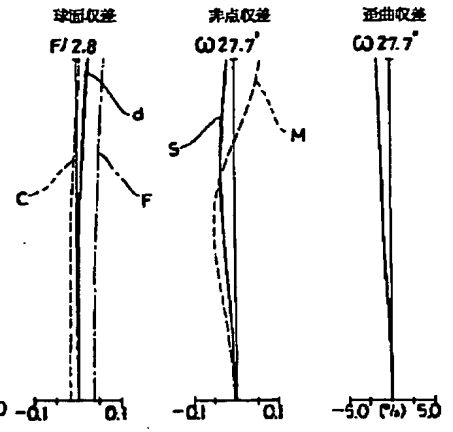
【図62】



【図63】

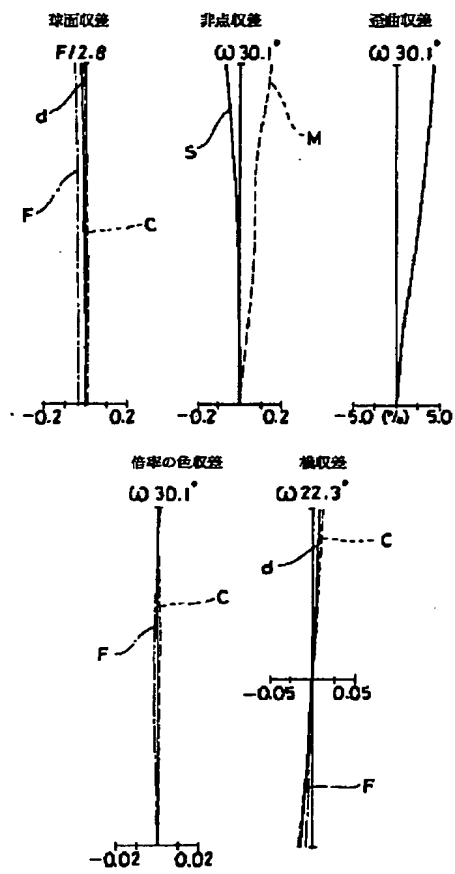


【図82】

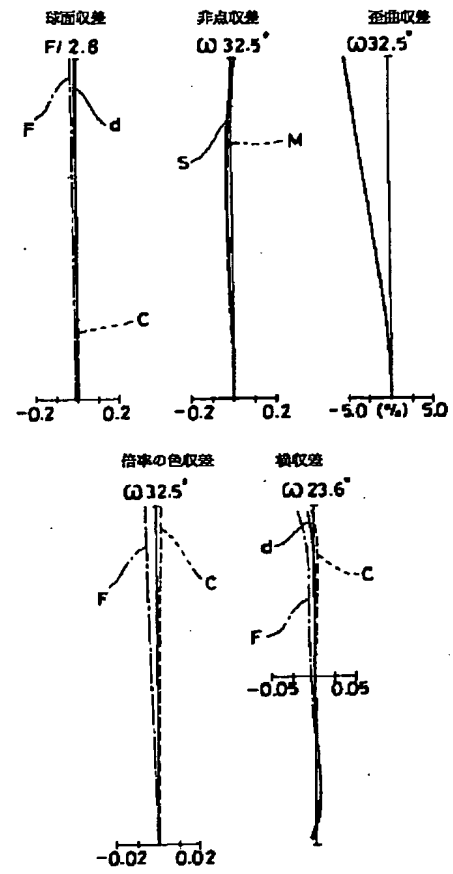




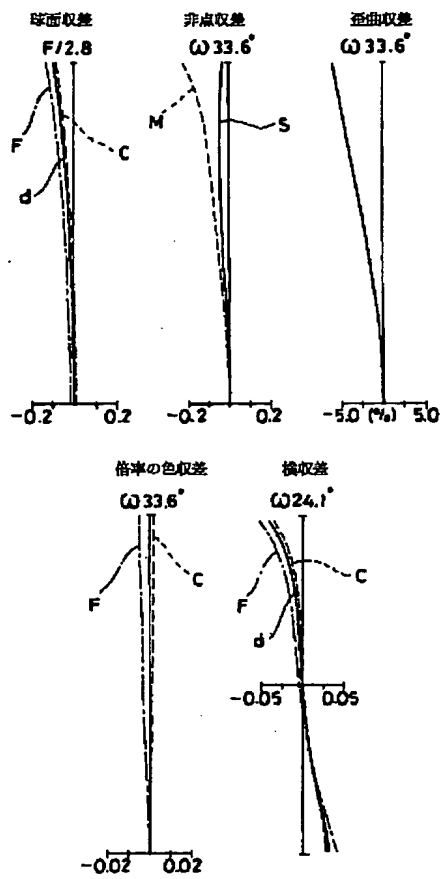
【図 6 4】



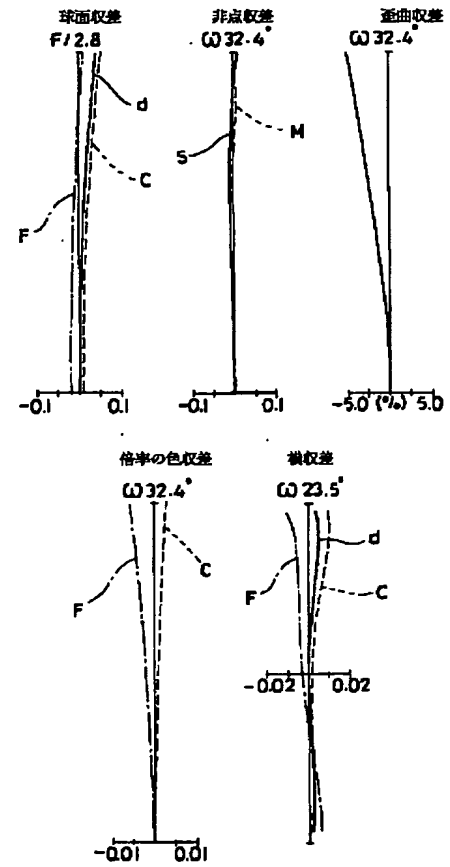
【図 6 5】



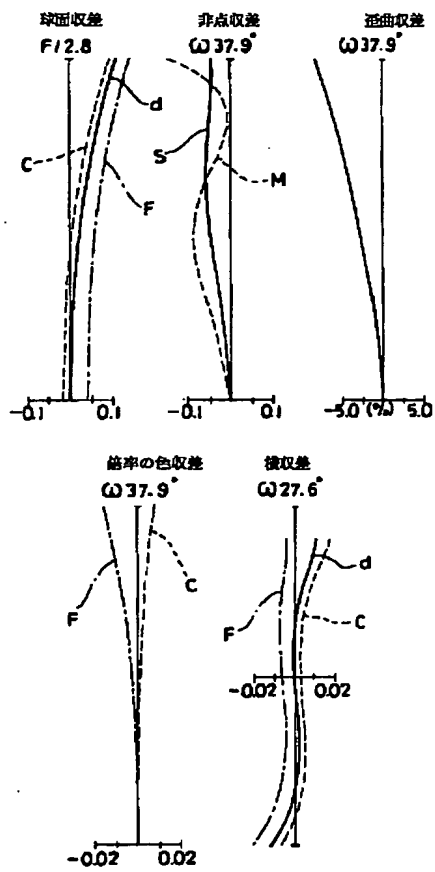
【図 6 6】



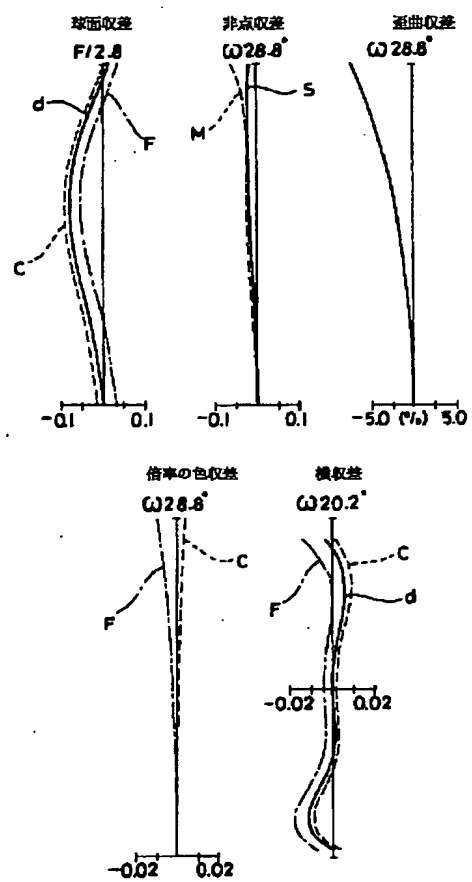
【図 6 7】



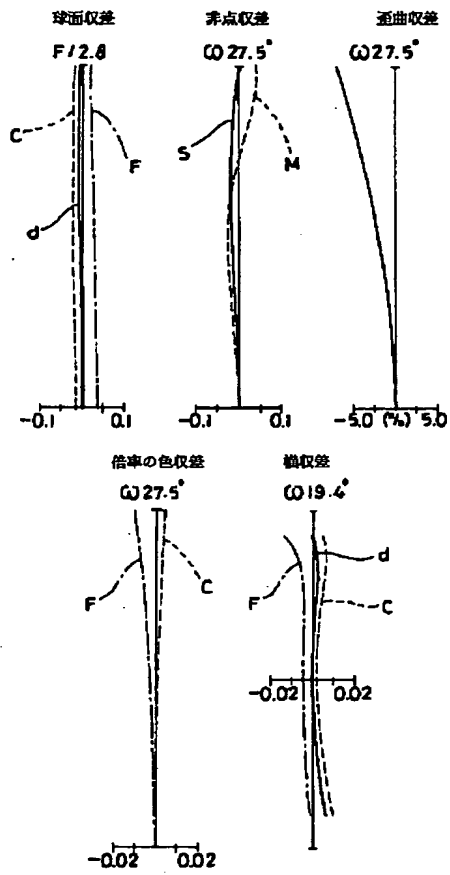
【図 6 8】



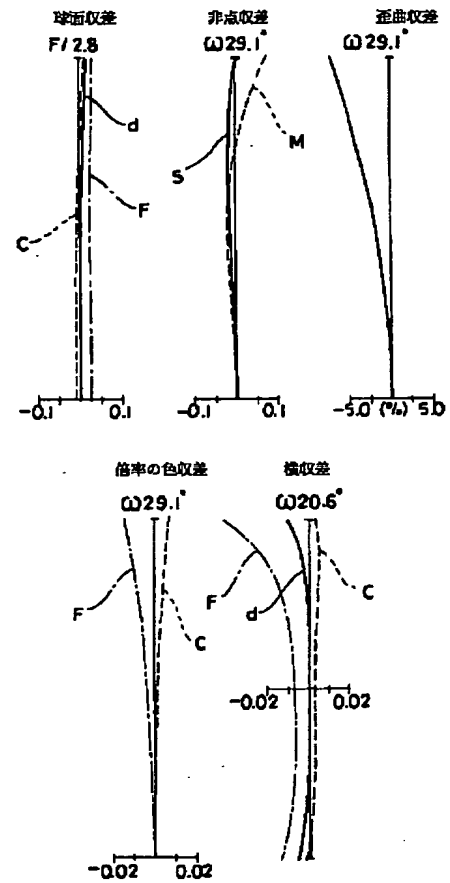
【図 6 9】



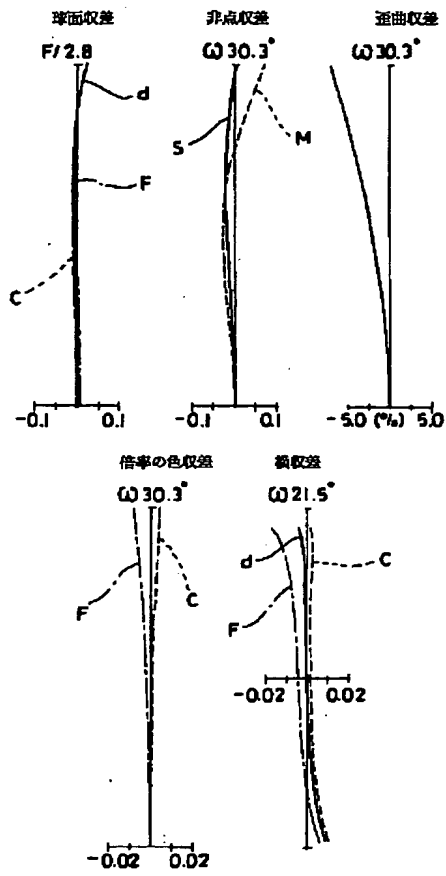
【図 70】



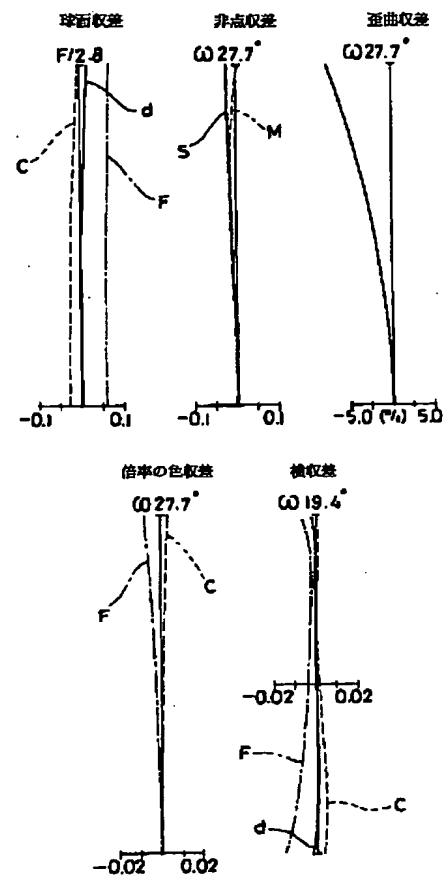
【図 71】



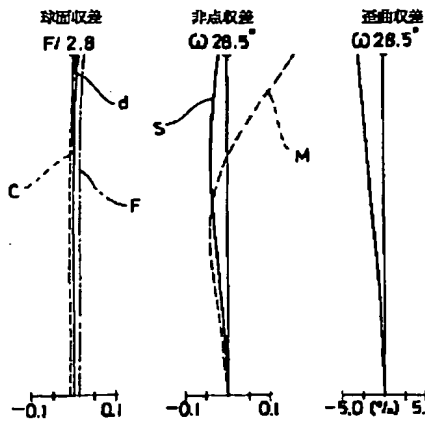
【図 7 2】



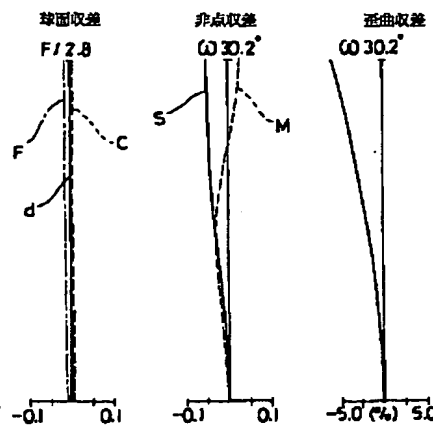
【図 7 3】



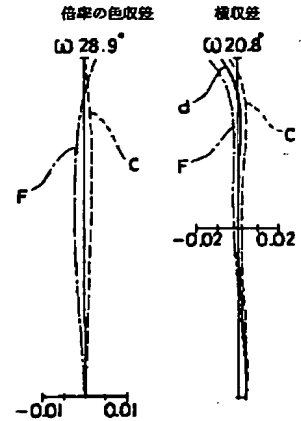
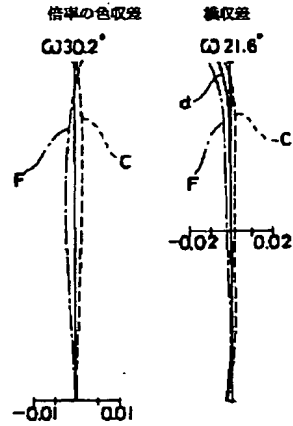
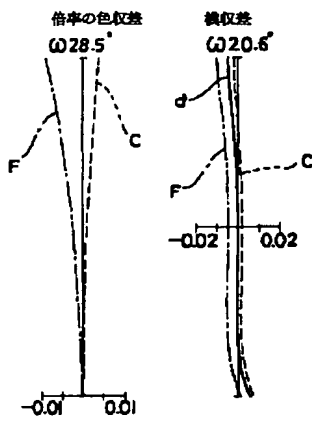
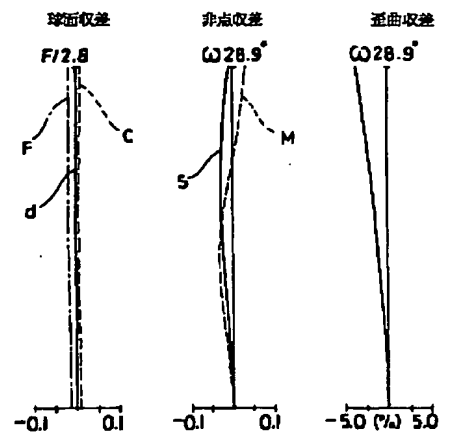
【図 7 4】



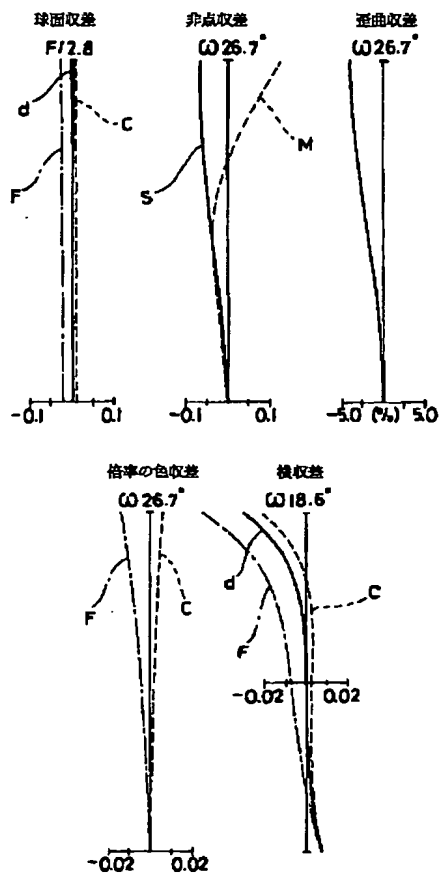
【図 7 6】



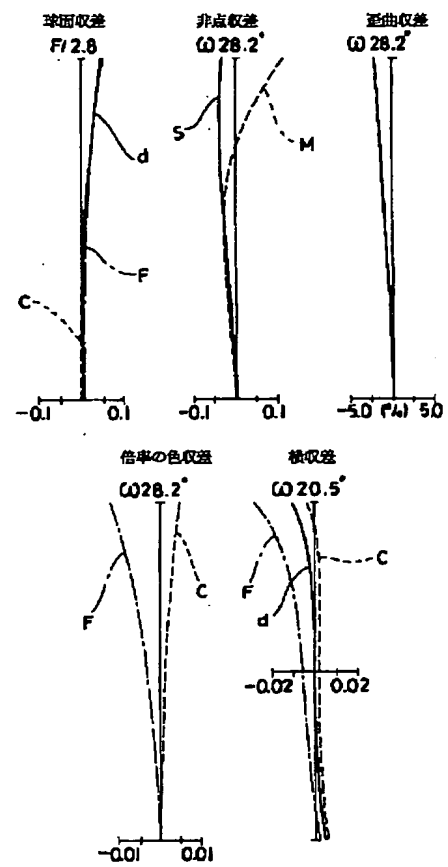
【図 9 5】



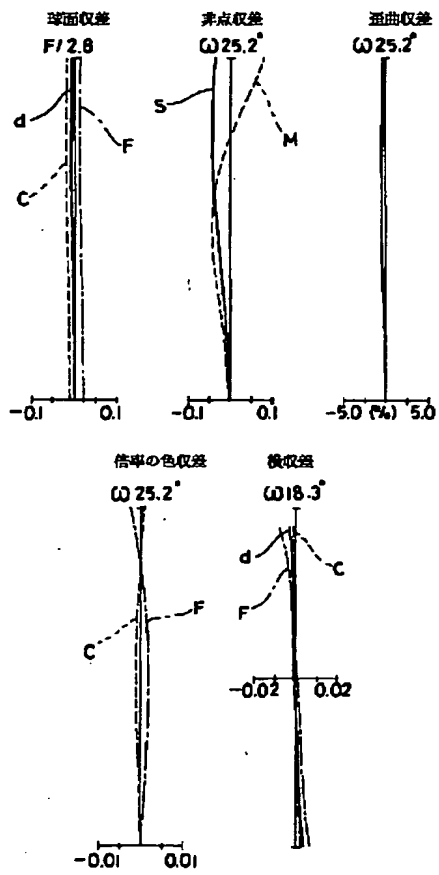
【図 7 8】



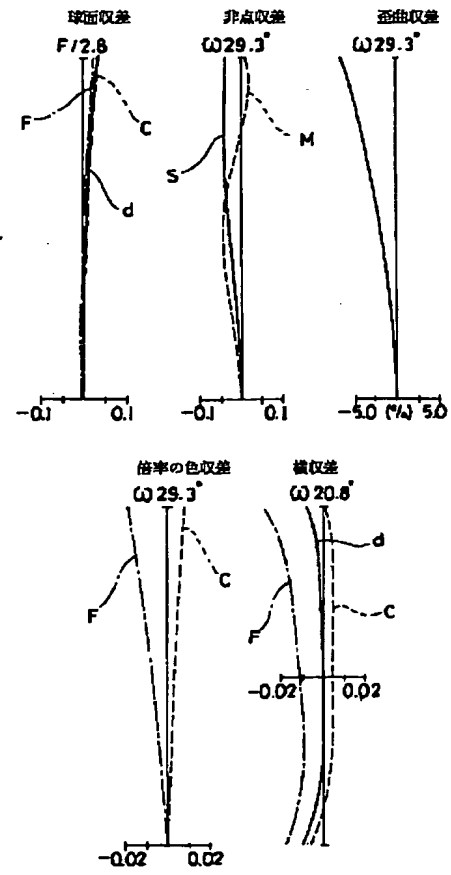
【図 7 9】



【図 80】

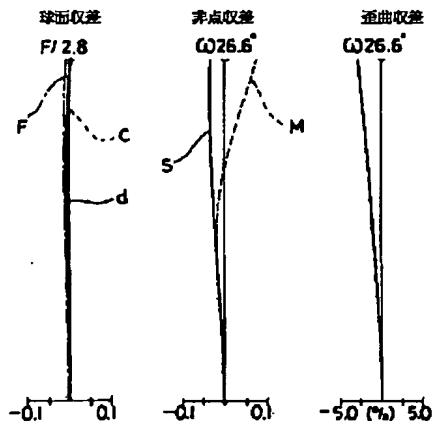


【図 81】

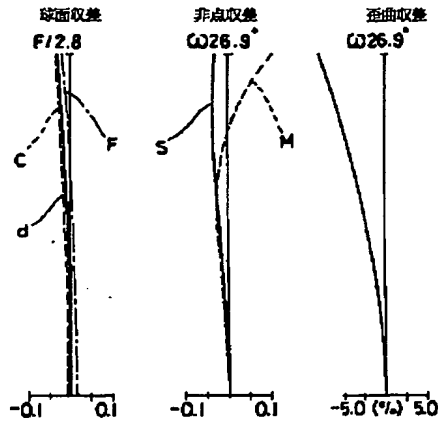




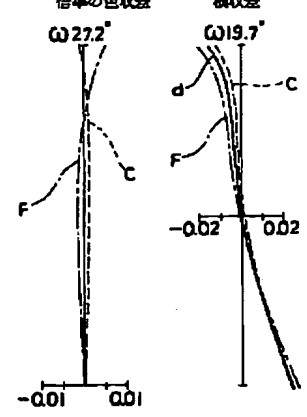
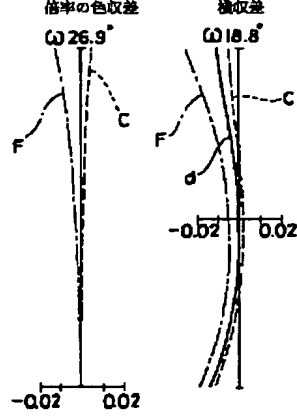
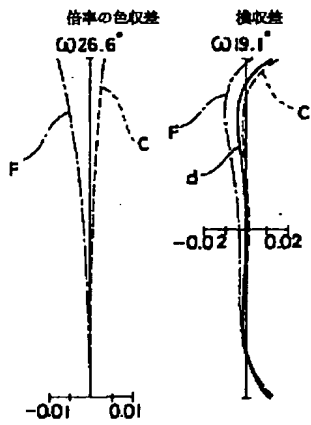
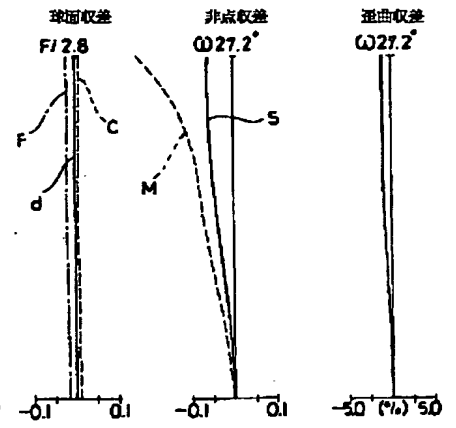
【図 8 3】



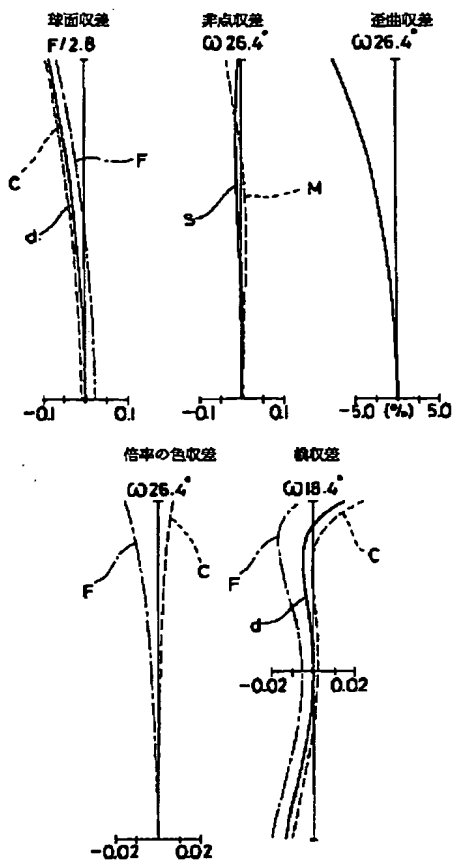
【図 8 4】



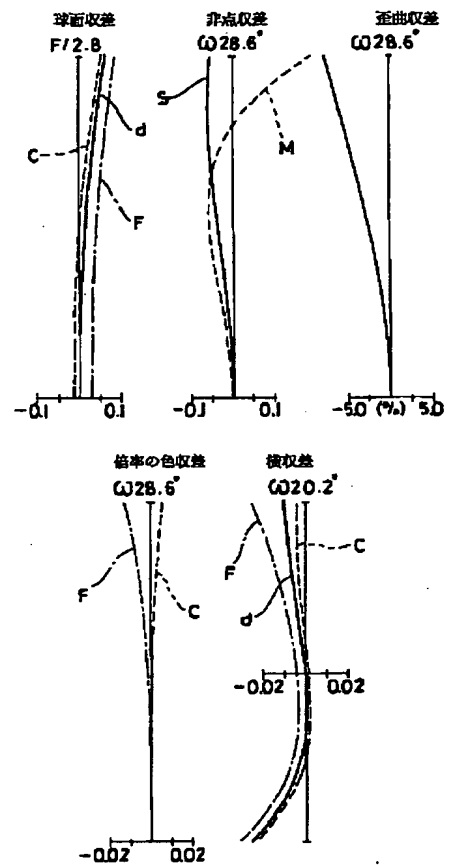
【図 9 6】



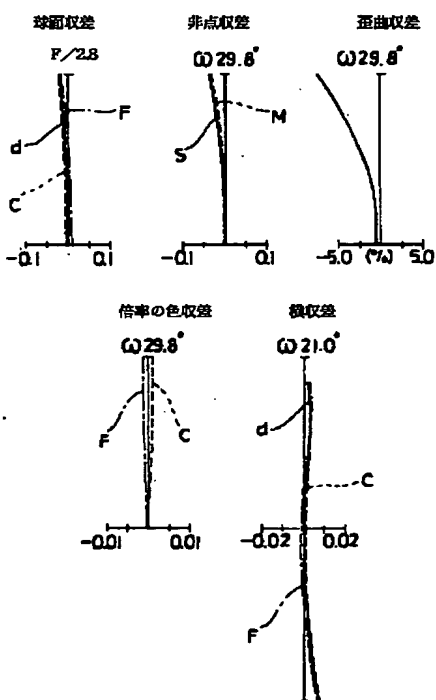
【図 8 5】



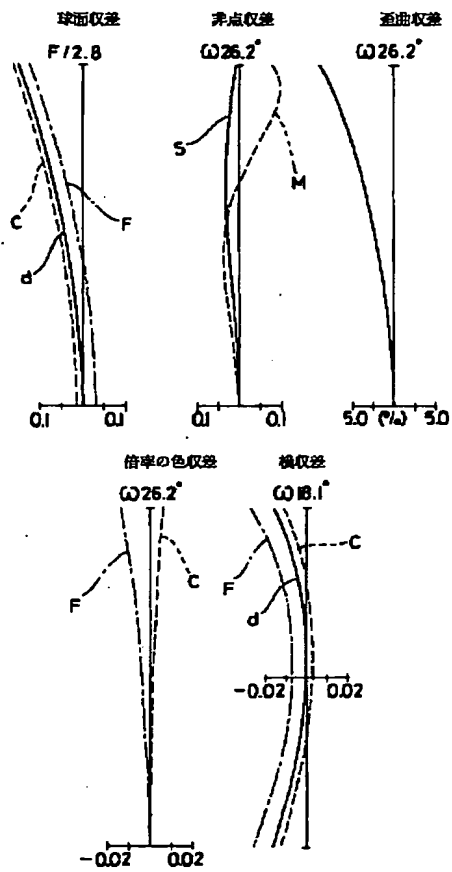
【図 8 6】



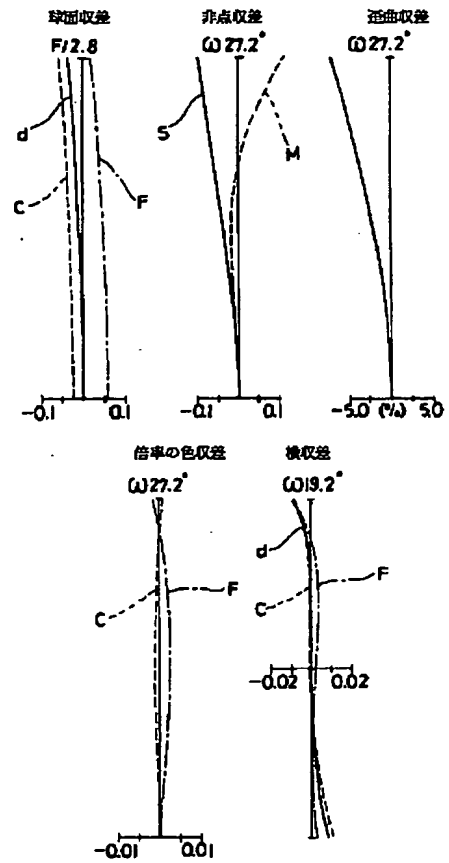
【図 1 0 3】



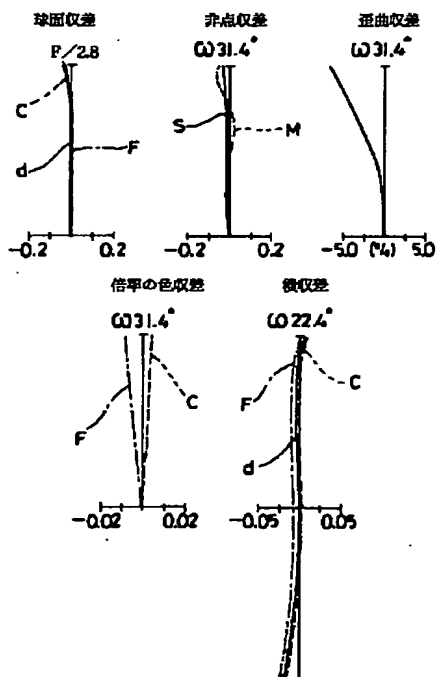
【図 8 7】



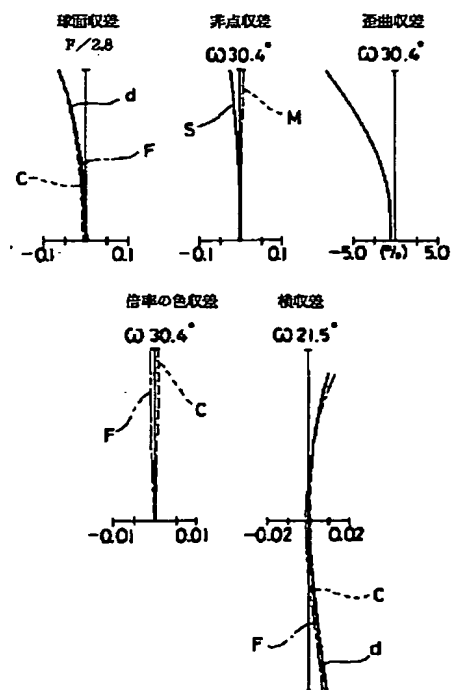
【図 8 8】



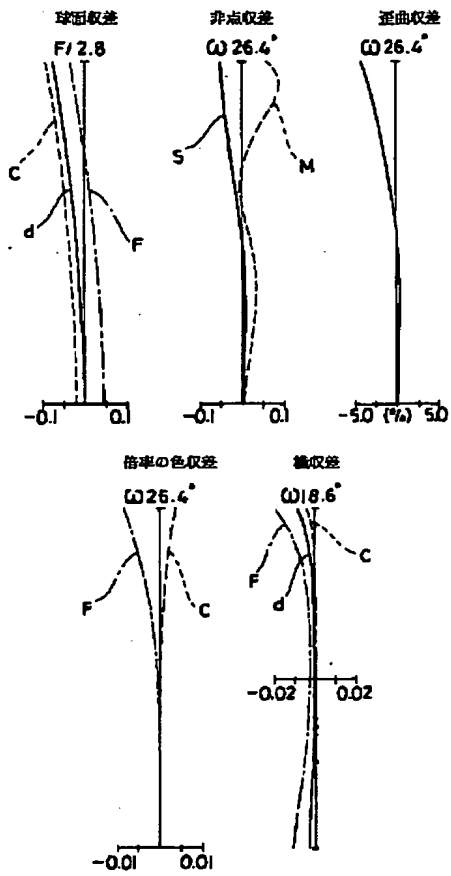
【図 1 0 8】



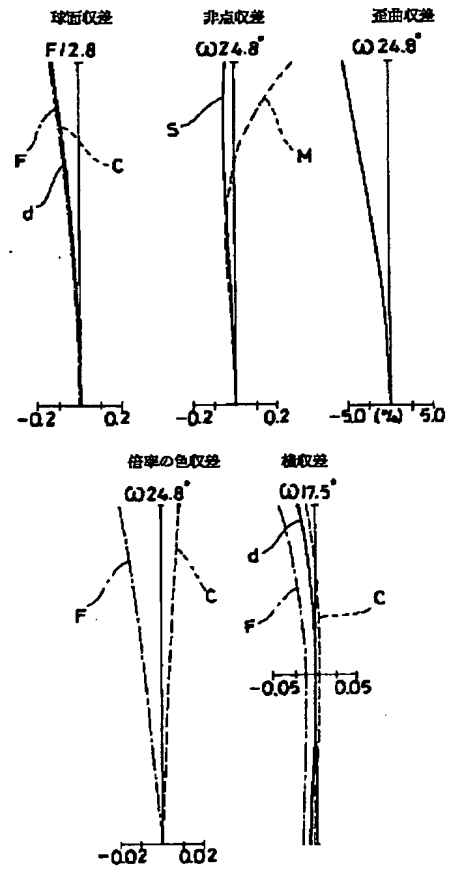
【図 1 0 4】



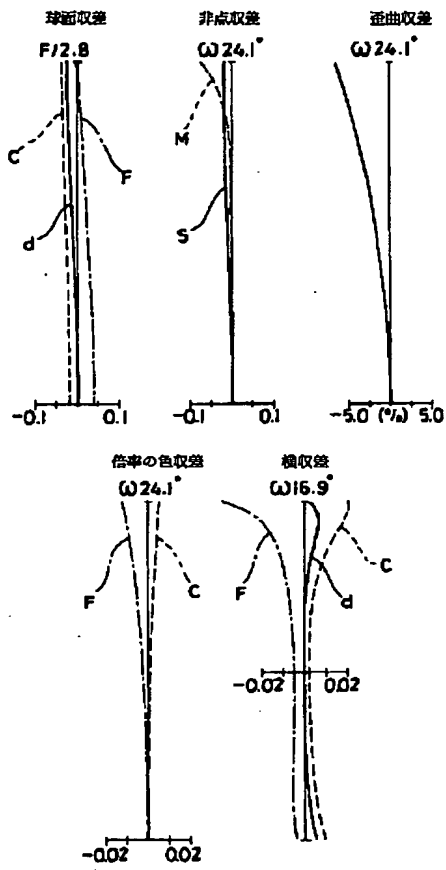
【図 89】



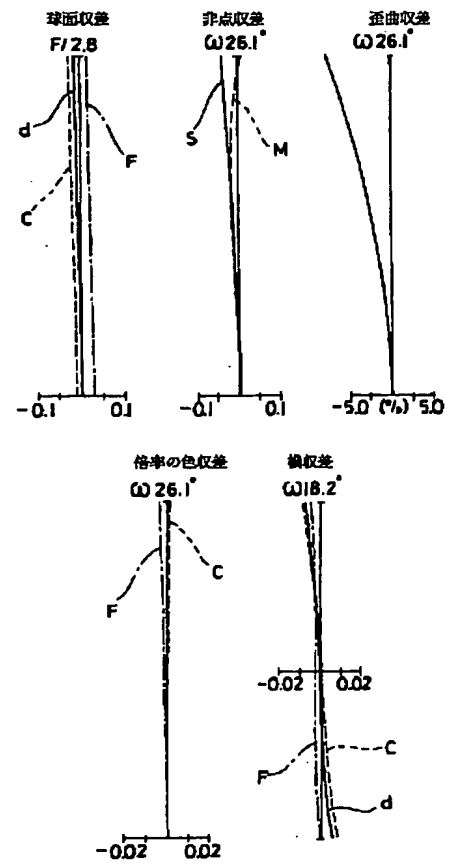
【図 90】



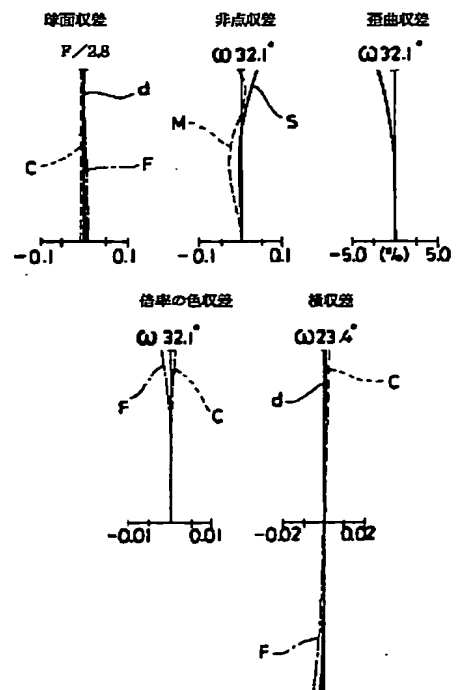
【図 9 1】



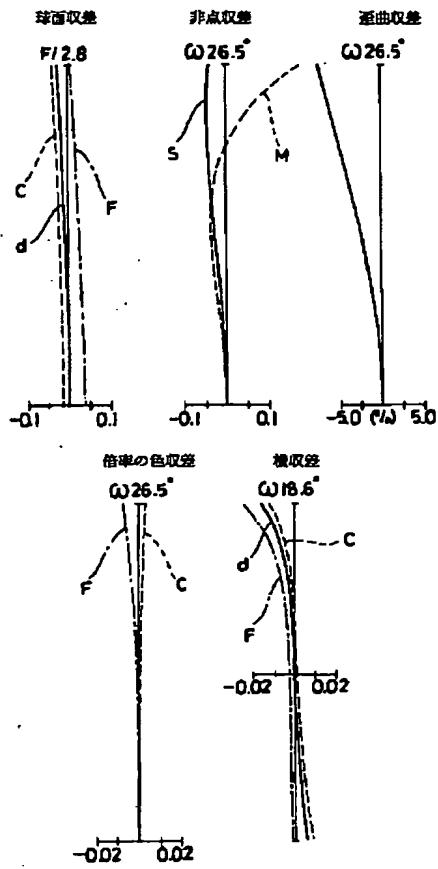
【図 9 2】



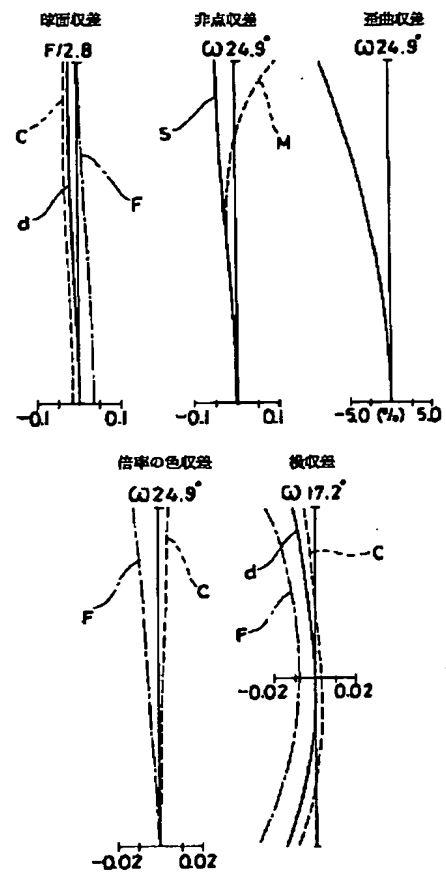
【図 1 0 5】



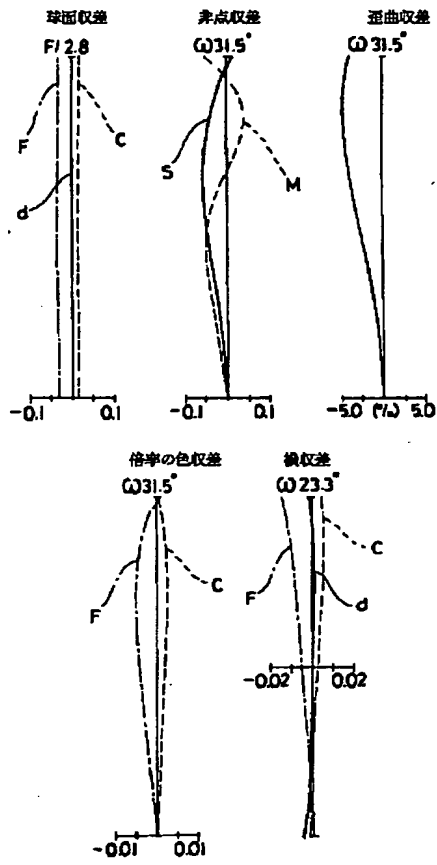
【図 9 3】



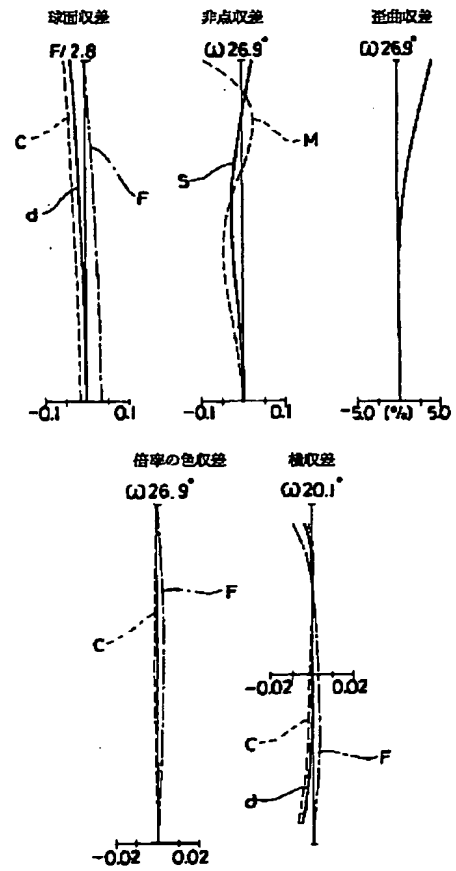
【図 9 4】



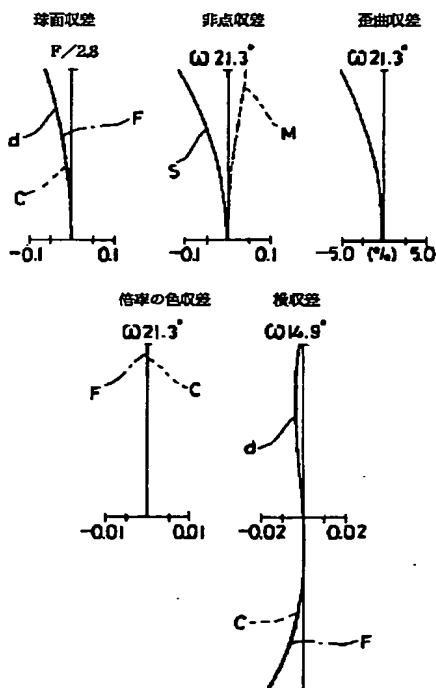
【図 9 7】



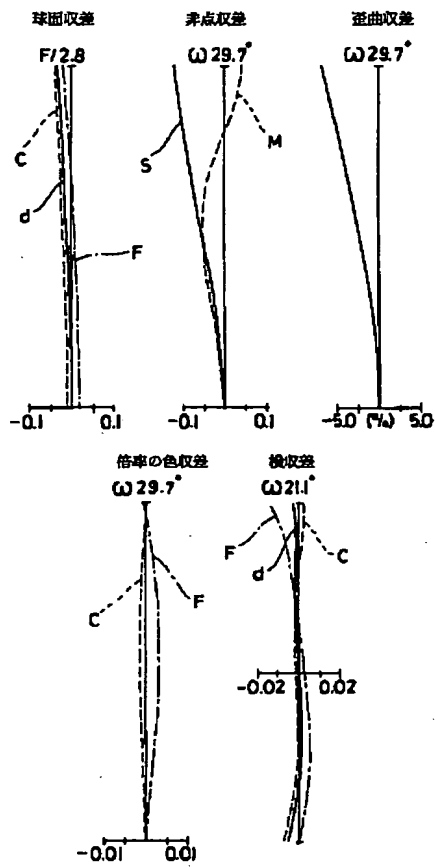
【図 9 8】



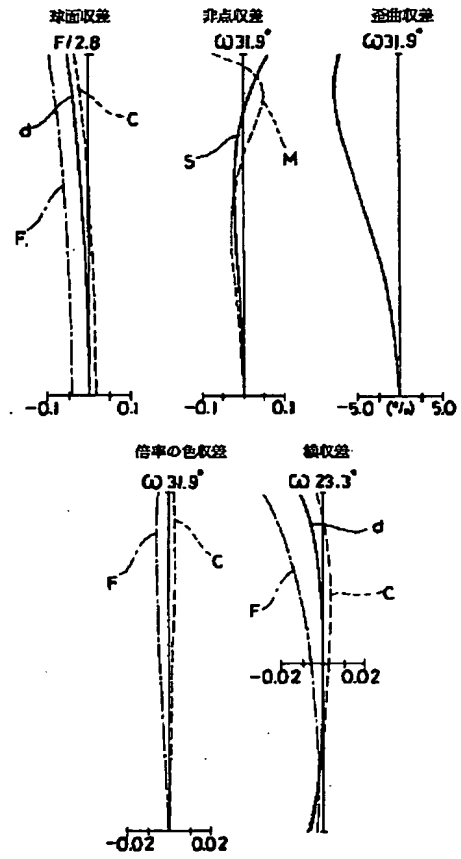
【図 1 0 7】



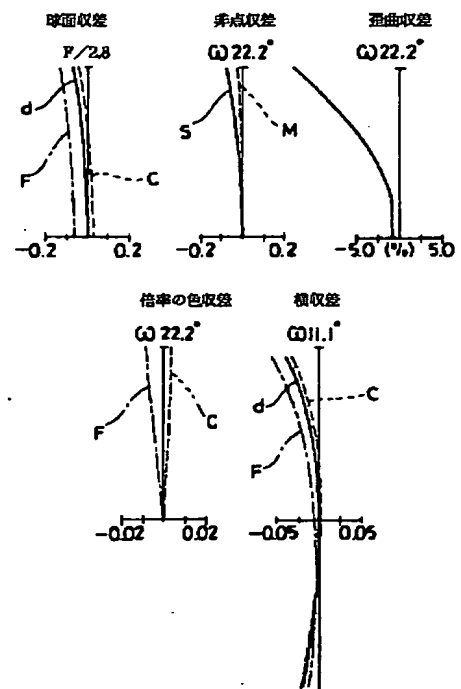
【図99】



【図100】

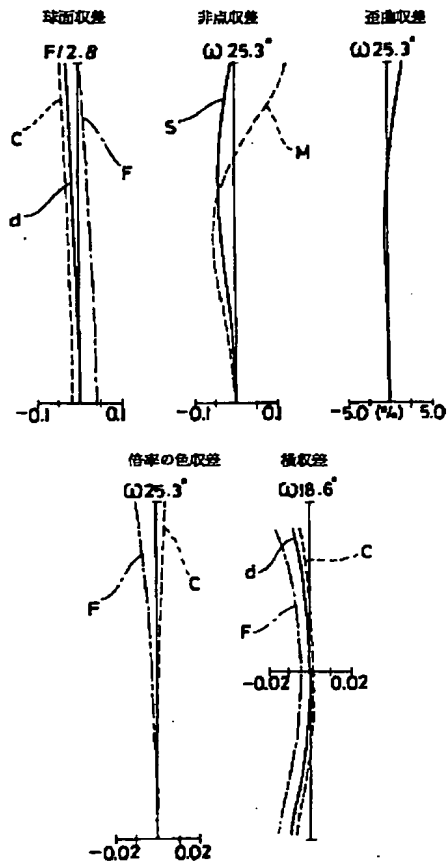


【図106】

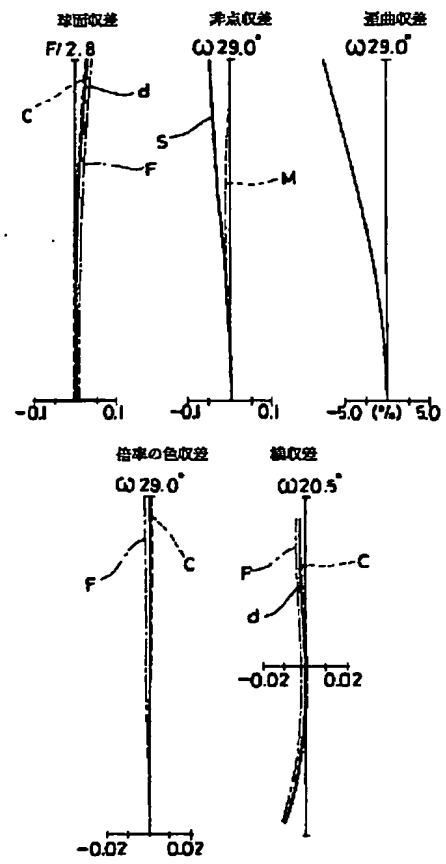




【図101】



【図102】



【図109】

